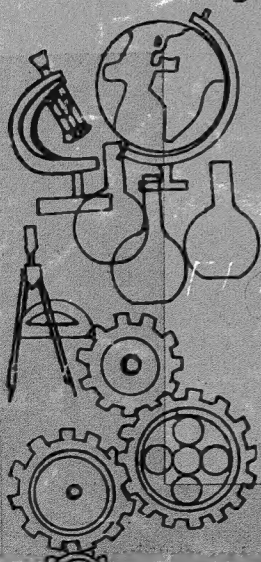


# ألوان من الطاقة

تأليف

د. عبد اللطيف أبو السعود





سلسلة  
العلم  
و  
الحياة

لجنة الإشراف:

المهندس: سعد شعبان

١. د. محمد جمال الدين القندي

١. د. محمد مختار العلوي

د. أميمة كامل



# ألوان من الطاقة

---

تأليف

د. عبد اللطيف أبو السعود



دار النشر

١٩٩٢



## الطاقة والبيئة والآلة

---

### ضغوط المستقبل :

منذ أزمة البترول العالمية ، التي عرفها العالم في عامي ١٩٧٣ ، ١٩٧٤ ، ذاعت دول العالم الصناعية ، طعم الآثار الاقتصادية والاجتماعية ، التي تنشأ عن نقص البترول ، وارتفاع أسعاره .

كما عرفت شعوب تلك الدول ، أن طريقتهم الصناعية في الحياة ، والتي تعتمد على استهلاك كميات كبيرة من الطاقة ، مهددة باحتمال انقطاع امدادات الطاقة . وأن هذه الطريقة يجب تغييرها ، إذا أرادوا ألا يهلكوا تحت تأثير ضغوط المستقبل .

### تتناقص بسرعة :

تعرف الطاقة عادة بأنها القدرة على أداء شغل . ويتم انجاز معظم العمل ، في مجتمعنا ، اليوم ، عن طريق استئناس موارد الطاقة المحدودة . وبالرغم من أننا نسمع كثيرا عن موارد جديدة

للطاقة ، سوف تستخدم فى مستقبل الأيام ، ( مثل طاقة الاندماج النووى ، والطاقة الحرارية الأرضية ) ، فان العمل فى حضارة اليوم مرتبط بـ أنواع الوقود الحفرى ( الفحم والزيت والغاز الطبيعى ) ، وهى موارد للطاقة تتناقص بسرعة .

ان المؤسسات التى أقامها المجتمع لتجمل وجود البشر أمرا ممكنا ، بما فى ذلك تلك التى تهتم بأمور الطب ، والزراعة ، والنقل ، والصناعة ، تعتمد الى درجة كبيرة ، على كميات متزايدة من هذه الموارد المحدودة للطاقة .

### تلوث البيئة :

واليوم نجد أن الناس يواجهون مشكلة خطيرة . ذلك أنه منذ الثورة الصناعية ، ظلت الدول الصناعية فى سباق لزيادة استهلاك الطاقة ، بسبب زيادة عدد السكان ، ولبناء قواعد عظيمة للقوة السياسية .

الا أن هذه الزيادات فى استهلاك الطاقة ، قد تسببت فى تغيرات مدمرة ، فى المناخ الاجتماعى والبيئى لتلك الدول .

فالتلوث ناتج لا مفر منه من نواتج استخدام الطاقة .

ان محطات توليد القوى الكهربائية ، التى تحرق



الفحم ، تطلق الملوثات فى الهواء ، وتحتاج الى كميات كبيرة من المياه للتبريد ، الأمر الذى يؤدى الى ما يعرف بالتلوث الحرارى للمياه .

والسيارات تحرق الوقود البترولى بكميات متزايدة .  
وهى تطلق الملوثات والحرارة فى الجو .

وكلما ازدادت كميات الطاقة التى تستهلكها محطات القوى الكهربائية والسيارات ، ازداد التلوث الناتج ، وتفاقمت أضراره .

وكثيرا ما يؤدى استخدام تكنولوجيا التحكم فى التلوث ، الى استهلاك مزيد من الطاقة .

مثال ذلك أن أجهزة التحكم فى التلوث الناتج من السيارات ، تحتاج الى طاقة فى إنتاجها .

وعند استخدامها ، نجد أن كميات أكبر من الطاقة ، تستهلك لدى السيارة بالقوة المحركة ، ولتشغيل أجهزة التحكم فى التلوث .

### حلول تكنولوجية :

يجب علينا أن نستبعد مصادر تلوث البيئة ، بدلا من محاولة اختراع حلول تكنولوجية لمشاكل التلوث .

وان خفضا فى استخدام الطاقة ، سوف يحل المشكلتين : مشكلة التلوث ، ومشكلة الحفاظ على المخزون المحدود من أنواع الوقود الحفري .

وفي اوائل السبعينات ، أصدرت وكالات حكومية أمريكية ، تحذيرات بضرورة تطبيق سياسات واسعة المدى ، للحفاظ على الطاقة ، وذلك لتجنب كارثة طاقة قومية .

الا أن الحكومة الفيدرالية الامريكية ، قد انتظرت ، حتى أصبح النقص في امدادات البترول حقيقة واقعة ( في أعقاب حرب اكتوبر عام ١٩٧٣ ) ، لتبدأ في تنفيذ سياسات الحفاظ على الطاقة .

### تكنولوجيات لاستخدام الطاقة بكفاءة :

ان سياسات الحفاظ على الطاقة ، سوف تكون ضرورية ، على نطاق واسع ، لتجنب حدوث نقص في الطاقة ، وفي السلع المنتجة ، الأمر الذي سوف يضر بالاقتصاد ، في السنوات المقبلة .

ويمكن ايجاد استخدامات أفضل للطاقة ، بدلا من الاهدار الواضح لها ، الذي نراه في نظامنا الاقتصادي الحالي .

ان استخدام السيارات لنقل الأشخاص ، وبناء المباني التي تتسرب منها طاقة التدفئة ، بكميات كبيرة ، الى البيئة المحيطة ، انما هي كماليات لا يطيقها مجتمع اليوم ، الذي يفتقر الى الطاقة .

ولذلك ، فانه يجب تطوير تكنولوجيات جديدة ،  
تمكن من استخدام الطاقة بكفاءة .

ويجب استخدام هذه التكنولوجيات الجديدة بسرعة ،  
لتخفيف وقع الصدمة على البلاد التي تأثرت بأزمة  
الطاقة .

### الطاقة الكلية والطاقة الصافية :

وهناك اعتقاد سائد بأن أزمة الطاقة سوف تختفى ،  
إذا خصصت الدول الصناعية اعتمادات كبيرة ،  
لاستثمارها في التكنولوجيات الجديدة ، مثل الانشطار  
النوى ، ولتطوير أنواع جديدة من الوقود السائل  
والغازي التركيبي ، من رواسب الأيدروكربونات  
الصلبة ، مثل الفحم ورواسب الزيت .

الا أن المقتنعين بهذا الرأي ، لا يفهمون العلاقة  
الاقتصادية ، بين الطاقة الصافية ، والطاقة الكلية .

### موارد غير محلولة :

وفي الولايات المتحدة ، نجد أن بعض العلماء  
والمخططين المتحمسين ، يشيرون الى الموارد غير المحدودة  
من الفحم ورواسب الزيت ، قائلين بأن برنامجا  
تكنولوجيا مكثفا ، سوف يمكن الولايات المتحدة من  
الاعتماد على مواردها الخاصة من الطاقة ، للتنمية  
الاقتصادية المستمرة ، في المستقبل .

الا أن الطاقة اللازمة لاستخراج مزيد من الزيت ،  
والغاز الطبيعي ، والفحم ، من الارض ، يمدن أن  
تكون أكبر من الطاقة الكامنة في موارد الوقود الأرضي  
نفسها .

وبالرغم من أن كميات احتياطيات الطاقة الحفرية  
تبدو كبيرة ، الا ان قيمة هذه الطاقة للمجتمع لا يمكن  
حسابها ، الا اذا طرحنا منها كمية الطاقة اللازمة  
لمعالجتها ، وتركيزها ، ونقلها الى المستهلكين .

أن الطاقة التي يمكن للمجتمع أن يستخدمها هي  
الطاقة الصافية ، التي تبقى بعد دفع تكاليف الطاقة  
الثانوية هذه .

وان معظم حسابات الحكومة والصناعة ، عن موارد  
الطاقة في المستقبل ، لا تأخذ هذه العوامل في  
الحساب . ونتيجة لذلك ، تصبح الحسابات الرسمية ،  
لمدى توفر الطاقة في المستقبل ، أمرا مشكوكا فيه .

### تكنولوجيا الانشطار النووي :

ولعل تكنولوجيا الطاقة ، التي يجري الانفاق عليها  
أكثر من غيرها ، في الولايات المتحدة ، وفي دول أخرى ،  
هي تكنولوجيا الانشطار النووي .

وتتلخص هذه التكنولوجيا في شطر ذرات  
اليورانيوم ، وغيره من الفلزات الثقيلة ، لتوليد الطاقة

الكهربية • ولكن صافي الطاقة الناتجة من هذه العملية ،  
مازال موضع تساؤل •

ليس هذا فحسب ، ولكن وسائل وقاية البيئة  
والجماهير ، تبدو غير كافية ، الى درجة كبيرة • ذلك  
أنه في تكنولوجيا الانشطار النووي ، نجد أن الجماهير  
في أمان ، طالما كان النظام يعمل بطريقة سليمة •

ولكن اذا حدث حادث في محطة القوى النووية ،  
أو في مصنع معالجة المخلفات ، أو عند نقل المواد  
المشعة ، يتعرض الناس ، وغيرهم من صور الحياة ،  
لأشد أنواع السموم المعروفة فتكا ، ويظل بعضها مميتا  
لآلاف السنين •

### الطاقة المتجددة :

ويبدو وأن الطاقة الشمسية هي أكبر نعم الله على  
الناس ، فهي المصدر الوحيد للطاقة المتجددة •

ان استخدام الطاقة الشمسية يهيئ الفرصة  
لتكنولوجيا آمنة ، وأقل تدميرا للبيئة ، التي يمكن أن  
تزدهر في عصر ما بعد الثورة الصناعية •

الا أن الجيل الحالي من العلماء والسياسيين  
والمخططين ، لم يعطوا اهتماما كافيا لتطوير مجتمع  
يعمل في اطار من الثبات البيئي والاجتماعي •

وفي اندفاع مجنون لاستخراج مخزون الأرض من

المصادر غير المتجددة ، نسي المخططون ، فى عالم اليوم  
الصناعى ، أن يعملوا حساب الأجيال القادمة .

ان الوقت المناسب للتغيير ليس تاريخا فى مستقبل  
الأيام ، ولكنه فى هذه اللحظة : الآن .

ويمكن تجنب الانهيار البيئى والاقتصادى ، اذا  
قامت المجتمعات الصناعية بتغيير التأكيد الحالى على  
التنمية الكبيرة ، الى مرحلة انتقالية ، للمحافظة على  
كوكب الأرض ، وليس لاستغلاله .

لقد ولت الأيام التى كان العالم الصناعى فيها  
مهمتا باستغلال الموارد ، ولا يفكر الا فى النمو  
الاقتصادى ، دون نظر الى امكانات الحياة فى مستقبل  
الأيام .

وان التجاوزات فى العصر الصناعى الحالى ، فى  
استهلاك موارد الطاقة ، يمكن تصحيحها ، لبدء عصر  
نهضة جديد ، يلى العصر الصناعى .

### الآلة الأولى :

ومنذ فجر التاريخ ، بحث الآدميون ، باستمرار ،  
عن طرق لتسهيل عملهم ، عن طريق استخدام الأدوات .

ومنذ حوالى اثنى عشر ألف عام ، الى عشرين ألف  
عام مضت ، قام سكان الكهوف ، فى جنوب فرنسا

واسبانيا ، برسم صور لما يمكن أن يكون آلة ، أو أداة  
معقدة ، استخدمها الانسان .

فهناك على جدران الكهوف صور لمصائد استخدمت  
لصيد الحيوانات الكبيرة ( الماموث والبيسون ) .

يدخل الماموث العظيم الى المصيدة ، فتتحرك رافعة،  
تؤدي الى انهيار عدد من جذوع الأشجار ، تصرع هذا  
الوحش .

### الطاقة الحيوية :

وعن طريق استخدام تلك المصيدة ، كان الصيادون  
الأوائل يجعلون امكانات وجودهم أكثر اشراقا .

وعن طريق التخطيط بحرص ، استخدموا الأدوات  
لقتل الحيوانات ، ولتطوير الطاقة الحيوية المتاحة ،  
والتي تأتي من ضوء الشمس ، في صورة غذاء ،  
للحصول على مزيد من الطاقة ، من الماموث والبيسون .

لقد كانت هذه العملية هي « أزمة الطاقة » اليومية  
التي واجهها أجدادنا الأوائل ، وكان الحل الذي توصلوا  
اليه ، هو استخدام التكنولوجيا .

### اكتشاف ثوري :

وفي العصر الحجري ، كان أكثر الاكتشافات  
حيوية ، هو كيفية اشعال النار عن طريق حك قطعتين  
من الخشب ، احدهما بالأخرى .

لقد كان لهذا الاكتشاف الثورى - الذى جاء  
بمحض الصدفة - آثار عديدة فى تاريخ الطاقة .

وقد وصفه المؤرخ الاقتصادى ( هارى المر بارنز )  
بقوله : ومهما كانت الطريقة التى تعلم بها الانسان  
الأول اشعال النار ، فان التقدم من مرحلة مجرد ابقائها  
مشتعلة ، الى مرحلة التمكن من اعادة اشعالها اذا  
انطفأت ، كان يعنى خطوة عظيمة الى الأمام .

ذلك انه ، بالنسبة للانسان الأول ، كانت النار  
تمنى الضوء ، والوقاية من البرد ، وعددا من الأشياء  
الأخرى .

ان النار التى كانت تدفئ جسم الرجل البدائى  
فى ملاجئه الصخرية ، قد أصبحت تحول خام الحديد  
الى صورة مصهورة ، فى الفرن اللافح ، كما أصبحت  
تقطع ألواح الصلب ، كما لو كانت تلك الألواح قد  
صنعت من الورق ، وذلك عن طريق الشعلة القاطعة .

### الطاقة الشمسية :

. وكان التقدم البشرى مريما خلال العصور التاريخية  
التالية - من عصر الأدوات الحجرية الى ما أطلق العلماء  
عليه اسم فجر الحضارة ، منذ حوالى ثلاثة آلاف أو  
أربعة آلاف عام مضت .

ويتميز هذا التقدم السريع باستخدام الطاقة



الشمسية ، بطريقة غير مباشرة ، لانتاج العبوب  
والحيوانات ، لبقاء الانسان .

### التحكم فى الجو :

وفى أواخر العصر الحجري ، استخدم الانسان  
آلات حجرية ، لاستئناس الزراعة ، وعند هذه الخطوة ،  
حاول الانسان أن يربط طاقته ، مكبرة عن طريق  
الآلة ، بمصدر الطاقة الشمسية ، ألا وهو المحاصيل  
المتجددة .

ونشأت أول مظاهر المجتمعات البشرية الثابتة ،  
عندما ظهرت ضرورة انشاء المساكن ، لحماية البشر  
الضعاف من تقلبات الجو .

وبحينذاك ، مست الحاجة الى استخدام تكنولوجيا  
بدائية أخرى - وكانت بدايات « التحكم فى الجو » .

### المساكن الأولى :

وقام الناس ببناء المنازل ، من المواد المحلية المتاحة ،  
مستعينين فى ذلك بأدواتهم البدائية .

وفى بعض المناطق ، كانت المساكن الأولى مجرد  
حفر فى باطن الأرض ، مغطاة بفروع الأشجار ،  
والنباتات .

وفى مناطق أخرى ، وفى أثناء العصر الحجري ،

نشأت بدايات العمارة مع تكون المجتمعات الصغيرة ،  
حيث كان الناس يسكنون فى مساكن من الخشب •

وفى مناطق أخرى ، كانت المساكن البدائية تبدو  
مختلفة • كان بعضها من الطين ، وبعضها من الخيزران ،  
أو من الخشب •

وكانت جميعها مصممة حسب الضرورة - لمواجهة  
الاحتياجات الجوية ، للمناطق التى كانت تقام فيها •  
وكانت العمارة تطويعا ذكيا للاحتياجات الجوية ،  
وكان النجاح يعنى البقاء ، وكان الفشل معناه القناء •

### عصر الحديد :

وكان التقدم التكنولوجى يتلخص فى المقدرة على  
استخراج المعادن من باطن الأرض ، واستخدام الطاقة  
الحرارية ( النار ) لتحويلها الى آلات وأسلحة •

وفى أول الأمر ، جاء النحاس ، ثم تلاء البرونز ،  
وهو سبيكة بين النحاس والقصدير ، ثم جاء عصر  
الحديد ، الذى بدأ فى أفريقيا ، أو فى بلاد المشرق ،  
منذ حوالى ٢٤ قرنا من الزمان •

وفى أوروبا ، بدأ عصر الحديد فى المنطقة التى  
تعرف اليوم بالنمسا ، واستمر منذ القرن الثانى عشر ،  
حتى القرن السادس قبل الميلاد •

وكان هناك عصر حديد فى شمال أوروبا ، استمر منذ عام ٥٠٠ قبل الميلاد ، حتى القرن الاول الميلادى .

### المصادر الطبيعية للطاقة :

وقبل عصر الاغريق والرومان ، كانت مصادر الطاقة الهامة الوحيدة ، هى المصادر الطبيعية - قوة المياه الساقطة ، واستخدام الرياح لتسيير السفن .  
أما فى الصناعة ، فان مصدر الطاقة المركزى ، كان النار - من احراق الخشب .

وفى محاولة لتقدير قوة طواحين الماء ، التى كانت تستخدم فى الصناعات الأساسية ، والزراعة ، والرعى ، وطنح الفلال ، تبين أنه ، فى عام ١٠٦٦م - وهو العام الذى احتدمت فيه معركة هاستنجز - كان هناك فى انجلترا حوالى ثمانية آلاف طاحونة ماء ، تخدم مليون شخص . وكانت كل طاحونة تولد حصانين ونصف . وتقدر هذه الطاقة بحوالى ضعف الطاقة التى بذلها مائة ألف رجل ، قاموا ببناء الهرم الأكبر .

أما الآلة الرئيسية الأخرى ، فى ذلك العصر ، فانها كانت طاحونة الهواء ، التى طورت فى بلاد فارس ، فى القرن السابع الميلادى .

وبحلول القرن الثالث عشر ، انتشرت طواحين الهواء فى أوروبا ، وأدخل عليها الهولنديون والانجليز تحسينات هامة .

## أدوات الحرب :

وفي العالم الغربي، وحتى ظهور الثورة الصناعية، نجد أن التطوير في استخدام الطاقة ، لم يكن في أهمية التطوير في استخدام المواد ( انتاج ادوات معدنية ، وأسلحة معدنية أفضل)، والفنون ، والعمارة ، والتجارة ، والزراعة .

وكان استخدام موارد الطاقة محدودا ، كما أن استخلاص المعادن لم يؤثر كثيرا في الانسان العادى .

وكان الكثير من أعمال المناجم والميكنة ، في الحضارات الأولى - وفي بلاد الاغريق والرومان على وجه التحديد - يهدف الى اتقان صناعة أدوات الحرب .

وقد أدى اطلاق الطاقة عن طريق النار ، الى تمكين الناس من اشعال نار الحروب ، على نطاق واسع .

واستمر التقدم في استخدام الطاقة ، بأنواعها المختلفة ، يسير بخطى حثيثة .

## انتاج الجازولين من الغاز الطبيعي

---

يجرى العمل على قدم وساق ، لانتاج عدد من المواد الكيميائية ، التي يمكنها أن تعمل كموامل مساعدة ، فى عدد من العمليات الكيميائية الصناعية الجديدة - من بينها انتاج جازولين رخيص الثمن من الغاز الطبيعي .

### العوامل المساعدة :

هناك عامل مشترك بين الكائنات الحية ، وبين المجتمع الصناعى الحديث ، اذ يعتمد كلاهما على العوامل المساعدة ، الى درجة كبيرة .

والعوامل المساعدة هي مواد تضاف بمقادير صغيرة ، الى النظم الكيميائية المتفاعلة ، لزيادة سرعة التفاعلات الكيميائية ، دون أن يحدث لهذه المواد المضافة أى تغيير .

وفى جسم الانسان ، نجد عددا من العوامل المساعدة ، التى يطلق عليها اسم الانزيمات ، وهى تمكن الجسم من القيام بعملية هضم الطعام ، وتحريك العضلات ، وبناء الأنسجة ، وتخزين الطاقة ، والقيام بجميع العمليات الحيوية الأخرى .

أما فى الصناعة ، فنجد أن الانزيمات تساعد فى عدد من الصناعات الغذائية ، فهى تحول اللبن الى جبن ، وتحول السكر والنشاء الى كحول .

ولما كانت الانزيمات ضعيفة ، ولا تعمل الا تحت ظروف دقيقة ، فقد بدأ استبدالها بعوامل مساعدة ، من صنع البشر ، تستخدم فى معظم العمليات الصناعية .

ولولا هذه المواد المساعدة ، ما أمكن للصناعة أن تنتج ، على نطاق كبير ، منتجات هامة ، مثل الجازولين ، وزيت الوقود ، والمواد المانعة للتجمد ، والأسمدة ، ودهون الطهى ، والأقمشة ، واللدائن ، وغيرها .

ويقرر بعض العلماء ، أنه فى الولايات المتحدة وحدها ، يجرى صنع منتجات تبلغ قيمتها ٧٥٠ مليوناً من الدولارات ، كل عام ، بالاستعانة بالمعامل المساعدة .

### سهولة لا يصدقها العقل :

وبالرغم من النجاح الهائل ، الذى حققته العوامل المساعدة ، التى هى من صنع البشر ، ظل الكيميائيون عشرات السنين ، ينظرون بعين الحسد ، الى الانزيمات الطبيعية ، التى تقوم بعملها بسهولة لا يصدقها العقل .

اذ يمكن للانزيم أن يقوم بتقسيم جزيء ، عند نقطة معينة ، ثم يقوم بوصل جزيئين بطريقة معينة ، أو نقل مجموعة من الذرات من جزيء الى آخر .

ويقوم الانزيم بتلك العمليات بدقة فائقة ، بحيث لا ينتج عن تلك العمليات الا الكمية اللازمة ، من المنتج المطلوب .

واليوم نجد أن علماء الكيمياء قد بدأوا في اللحاق بالطبيعة .

وحتى عهد قريب ، كنت ترى العلماء يختبرون مئات المواد ، بل آلاف منها ، على أمل أن يجدوا بينها عاملا مساعدا يقوم بالعمل المطلوب .

### الهندسة الجزيئية :

واليوم بدأت في الظهور طريقة جديدة لانتاج المواد المساعدة .

ويرجع الفضل في ذلك الى تمكن العلماء من فهم التفاعلات الكيميائية ، بطريقة أحسن ، وإلى صنع أجهزة جديدة ، تمكن العلماء من مراقبة العمليات الكيميائية ، التي تقوم العوامل المساعدة بزيادة سرعاتها ، كما يرجع الفضل في ذلك الى ازدياد قوة أجهزة الكمبيوتر .

ويطلق على ذلك اسم الهندسة الجزيئية . وهذه الهندسة تساعد الباحثين في الوصول الى هدفهم الذي سعوا اليه طويلا ، ألا وهو صنع عوامل مساعدة ، تعمل بكفاءة ، مثلها في ذلك مثل الانزيمات .

أما الدكتور ( هنرى تاوبه ) أستاذ الكيمياء في

جامعة ستانفورد ، ومستشار شركة (كاتاليتيكا) ، وهي شركة رائدة في هذا المجال ، فانه يرى أن الكيميائيين قد وصلوا ، في كثير من الحالات ، الى النقطة التي يمكن عندها فهم العلاقة بين التركيب الكيميائي ووظائف المواد ، كما أصبح في امكانهم عمل تركيبات معقدة للغاية ، بعد أن كان ذلك أمرا شديدا الصعوبة من قبل .  
وينتظر العلماء من الهندسة الجزيئية ، أن تجعل العمليات الكيميائية الحالية ، أبسط مسارا ، واقل فاقتا .

ليس هذا فحسب ، بل انها سوف تمكن المنتجين من انتاج مواد خام لمنتجات جديدة :  
لدائن تقاوم النار الى درجة كبيرة ، أو شرائح أصغر حجما للصناعات الالكترونية ، وغير ذلك .

### الجازولين من الغاز الطبيعي :

ويهدف أحد المشروعات الطموحة ، لتصميم المواد المساعدة ، الى الاستفادة من الغاز الطبيعي ، كمصدر للجازولين ، وغيره من أنواع الوقود والكيمائيات .  
ذلك أن عددا كبيرا من خبراء استراتيجيات البترول ، على المدى الطويل يتوقعون أن ترتفع أسعار البترول مرة أخرى ، بمرور الوقت .

وهم يعتقدون أن أى شركة تنجح في تصميم طرق تعمل بالعوامل المساعدة ، لتحويل غاز الميثان ( وهو



المكون الرئيسي للغاز الطبيعي ) ، الى الكحول الميثيلي ،  
فى خطوة واحدة . فى موقع البئر ، سوف تحقق مدة  
الشركة مكاسب هائلة .

وهناك عوامل مساعدة يمكنها أن تقوم بالخطوة  
التالية ، وهى تحويل الكحول الميثيلي الى جازولين ، ذى  
درجة أوكتين عالية .

وفى نيوزيلاندا ، بدأ العمل فى أول مصنع تجارى،  
يستخدم المواد المساعدة لهذا الغرض . الا أن الطريقة  
المستخدمة فى هذا المصنع ، طريقة مكلفة ، وتستهلك  
كميات كبيرة من الطاقة ، لتحويل غاز الميثان الى كحول  
ميثيلي .

#### عامل مساعد جديد :

ولكن هناك عامل مساعد جديد ، أنتج بطرق الهندسة  
الجزئية ، يمكنه أن ينتج الكحول الميثيلي من الغاز  
الطبيعى والهواء ، بطريقة بسيطة ورخيصة .

كما يمكنه أن ينتج الكحول الميثيلي من الفحم ،  
بعد تحويله الى غاز ، أو حتى من الكتلة الحيوية ، مثل  
أعواد الذرة ، وقطع الخشب ، والقمامة ، وأنواع  
أخرى من المخلفات الزراعية ، وهذا يقلل الاعتماد على  
المصادر التقليدية للبترول .

وهناك مصانع صغيرة يمكن نقلها ، وتركيبها عند  
مواقع آبار الغاز الطبيعى البعيدة ، لصناعة الكحول  
الميثيلي بجوارها .

ثم يمكن بعد ذلك نقل هذا الكحول بالسيارات أو السفن ، بتكاليف تقل كثيرا عن تكاليف اسالة الغاز الطبيعي ، ونقله ، باستخدام ناقلات خاصة ، الى مواقع خاصة لتخزينه ، مبردة وعالية التكاليف .

وهناك مواد مساعدة ، يمكن استخدامها لانتاج مجموعة من المواد الكيميائية المفيدة ، من الغاز الطبيعي ، بطريقة بسيطة ، وبتكاليف محدودة .

### فى خطوة واحدة :

ان الهندسة الجزيئية اللازمة لانتاج هذه المواد المساعدة ، التى تبدو للناس مواد سحرية ، قد أصبحت حقيقة واقعة .

ذلك أن عددا من هذه العوامل المساعدة ، يستخدم اليوم على نطاق واسع ، لزيادة كمية الجازولين التى تستخرج من برميل من الزيت ، و انتاج بعض الأنوية ، فى خطوة واحدة ، و انتاج مادة جاذبة جنسية ، تجذب الحشرات الى حتفها .

ويرى الدكتور ( تاوبه ) أن شركة ( كاتاليتيكا ) أمامها فرصة جيدة للوصول الى الاقتحام الكبير ، لتحويل غاز الميثان الى كحول ميثيلي .

وعلماء الكيمياء يعرفون أن ذلك يمكن تحقيقه .  
فهناك كائنات دقيقة ، تحول غاز الميثان الى كحول

ميثيلي ، فى خطوة واحدة ، والمعروف أن الكيميائيين يستمرون الأفكار من الكائنات الدقيقة ، فى بعض الأحيان .

### سياق نحو الهدف :

وحتى تتمكن شركة ( كاتاليتيكا ) من أن تسبق شركات النفط العملاقة ، والشركات الكيميائية الكبيرة ، مثل شركة اكسون ، وشركة شيفرون ، وشركة موبيل ، وشركة ديبون ، وشركة مونسانتو ، التى تتسابق للوصول الى نفس الهدف ، نجد أن شركة ( كاتاليتيكا ) قد جمعت مجموعة كبيرة من الباحثين ، تضم خمسة وعشرين باحثا من الحاصلين على الدكتوراه ، وخصصت للمشروع خمسة وعشرين مليونا من الدولارات ، جمعتها من ثلاثة من شركات الاستثمار .

وقد أعلنت شركة ( كاتاليتيكا ) عن عزمها على التحرك بسرعة ، نحو تجارب المصنع التجريبي Pilot Plant ، باستخدام عواملها المساعدة الجديدة ، وذلك عن طريق اختيار مدير انتاج ذى خبرة كبيرة ، وهو ( ريتشارد فلمنج ) ، المدير السابق لشركة ( جاف GAF ) ، ليكون مديرا للشركة .

أما ( جيمس كوزومانو ) ، المدير السابق لأبحاث العوامل المساعدة فى شركة ( اكسون ) ، والذى قام بتأسيس شركة ( كاتاليتيكا ) ، فانه قد تقدم الى مركز

الرئيس العام للشركة ، ليخلى مكانا للسيد ( فلمنج ) .  
والمديرون التنفيذيون فى شركة ( كاتاليتيكا )  
يشعرون بأنهم متقدمون على منافسيهم من الشركات  
الكبيرة .

ويرجع السبب فى ذلك الى أن شركتهم قد بدأت  
مبكرة ، قبل غيرها ، فى أبحاث الهندسة الجزيئية  
للمواد المساعدة .

ويرى ( جون سينفلت ) الكيميائى بشركة اكسون،  
أن العديد من الشركات الكبيرة ، تتمنى لو كان لها  
ما لشركة ( كاتاليتيكا ) من مقدرة على البحث العلمى .

### مبيعات كبيرة :

وحتى اليوم ، وبغض النظر عن الدراسات التى  
تجريها شركة ( كاتاليتيكا ) لعمل مواد مساعدة لبعض  
المعلاء ، نجد أن المنتجات الوحيدة لهذه الشركة هي  
المجسات sensors ذات العامل المساعد ، المصممة  
لقياس تركيز أول أكسيد الكربون فى غازات المداخن ،  
وذلك لمساعدة المصانع على جعل عمليات الاحتراق فيها  
أكثر كفاءة .

ويعتقد البعض أن مبيعات هذه الشركة قد بلغت  
حوالى مليونى دولار فى العام .

ولكن المديرين التنفيذيين لهذه الشركة ، يتحدثون

اعن عائدات سنوية ، تبلغ مائة مليون دولار ، خلال عدة أعوام ، وذلك من خلال مبيعاتها من العوامل المساعدة المستحدثة ، ومن مشروعات استثمارية بالاشتراك مع شركات اكبر ، تلك المشروعات التي سوف تصبح شركة ( كاتاليتيكا ) بمقتضاها شريكا في مصانع كيميائية ، تستخدم فيها عواملها المساعدة .

وفي البداية ، سوف تستخدم هذه الشركة عواملها المساعدة لزيادة الانتاج ، وتحسين نوعية الكيماويات المستخدمة في صناعة الأدوية ، والأغذية المعلبة ، وأنواع الوقود ، واللدائن .

وفيما بعد ، سوف تركز الشركة على صناعة عوامل مساعدة جديدة ، يمكنها أن تستخدمها في انتاج مواد غير موجودة في الوقت الحالى - مثل لدائن لها خواص غير عادية ، على سبيل المثال .

وقد ذكر ( كوزومانو ) أنهم يستعدون لقفزة هائلة ، لا لمجرد تحسينات هامشية .

### طرق التسخين والضرب :

والهندسة الجزيئية ، كما تمارسها شركة ( كاتاليتيكا ) ، أو أى جهة أخرى ، تعتمد على المعلومات التى يحصل عليها الكيميائيون من مصادر بيولوجية ، مثل الانزيمات ، كما تعتمد على معلومات جديدة ، عن الطريقة التى تسير بها التفاعلات الكيميائية .

وشأنها فى ذلك شأن الكيمياء كلها ، نجد أن العوامل المساعدة ، القديم منها والحديث ، تتضمن كسر الروابط الكيميائية ، وتكوينها .

والفرق بين العوامل المساعدة التى أنتجتها الهندسة الجزيئية ، وبين العوامل المساعدة القديمة ، هى الرشاقة التى تتميز بها العوامل المساعدة الجديدة ، عند قيامها بعملها .

ذلك أن العوامل المساعدة القديمة كانت تعتمد على ما يسميه علماء الكيمياء ، بطرق التسخين والضرب ، تلك الطرق التى كانت تستخدم درجة حرارة عالية ، وضغطا عاليا ، لتنتج ، فى معظم الأحوال ، مزيجا من النواتج غير المرغوب فيها .

والمعروف أن ثلاثين فى المائة من الاستثمارات ، فى المصانع الكيميائية ، فى يومنا هذا ، إنما يخصص لتخليص النواتج من تلك المنتجات غير المرغوب فيها .

ويهدف العلماء اليوم الى خفض استهلاك الطاقة ، والمواد الخام ، وإنتاج نسبة أقل من المواد غير المرغوب فيها .

مثال ذلك أن تحويل غاز الميثان الى كحول ميثيلي ، سوف يجرى بنفس الطريقة التى تجرى بها الكائنات الدقيقة هذا التحويل ، بدون درجة حرارة عالية ، وبدون ضغط عال .

## حفز التفاعلات الكيميائية :

ولتكوين عامل مساعد ، بطرق الهندسة الجزيئية ، يقوم علماء الكيمياء أولا بالتعرف على مجموعة من المواد ، لها الخصائص الكيميائية والفيزيائية المطلوبة .

ثم يقومون بتخليق هذه المواد ، باستخدام أدوات جديدة ، مثل أجهزة الرنين المغناطيسى النووي، المعروفة باستخداماتها فى تشخيص الأمراض ، ومثل نوع من مطياف امتصاص الأشعة السينية ، وذلك لمراقبة التفاعل المحفوز بالعوامل المساعدة ، أثناء تقدمه ، وتحليل كيميائه .

ويرى السيد ( راسل كيانلى ) ، الباحث الرئيسى فى شركة اكسون للبحث والهندسة ، أنه فى كل عام ، يتمكن العلماء من رؤية الأشياء عند مستوى أدق . وهذا يجعل حفز التفاعلات الكيميائية ، بالعوامل المساعدة ، أمرا أكثر إثارة .

ان التفاعلات الكيميائية المحفوزة ، التى كانت ، منذ سنوات قليلة ، سرا من الأسرار الدفينة ، أصبح من الممكن تفسيرها .

وفى كثير من الأحوال ، لم يعد العلماء يحتاجون الى الاستفسار عن أى العوامل المساعدة أفضل لتفاعل معين ، لأنهم باتوا يفهمون القواعد التى تحدد الاختيار الصحيح .

والعامل المساعد يشبه قائد الفرقة الموسيقية ،  
الذى يقدم لنا الموسيقى الشجيرة ، دون ان يحدث  
صوتا .

وكما تقود عصا واحدة عددا كبيرا من الموسيقيين ،  
فان حفنة من العامل المساعد ، تقود التفاعلات الكيميائية  
لأطنان من المواد .

والنسبة بين العامل المساعد والمنتج النهائي ،  
يمكن أن تصل الى رطل واحد لكل ٢٥ مليون جالون .

ان ما يحدث فى التفاعل المحفوز ، انما هو انتاج  
سريع ومتكرر ، لجزيئات معينة ، بحيث يتبع هذا  
التفاعل دورة متوازنة من الخطوات الأولية .

على أن أهم أساسيات الموضوع ، هو تبادل  
الالكترونات بين العامل المساعد ، والمادة التى يتفاعل  
م معها .

وهذه التفاعلات الالكترونية ، تضعف الروابط  
الكيميائية ، وتكسرها ، وتعيد بناءها .

والعوامل المساعدة لا تفقد الكترونها ، ولكنها  
تقرضها للمادة المتفاعلة ، ليس الا .

والنشاطية الحفازة تكمن عند سطح العامل  
المساعد ، الذى هو ، فى أغلب الأحوال ، مركب فلزى .  
وكثيرا ما تقوم الذرات الفلزية بدور العوامل



المساعدة ، لأن الكثير منها يستقبل الالكترونات ، أو يعطيها لغيرها من المواد ، بسهولة .

### نواتج مختلفة :

والعوامل المساعدة المختلفة ، تمكن الكيميائيين من انتاج نواتج مختلفة ، من نفس المادة التى بدأوا بها .  
مثال ذلك ان الكحول الايثلى المصبوب على أوكسيد الألومينيوم ، يتحول الى غاز الاثيلين .

أما اذا لامس جسيمات النحاس المعلقة الى درجة عالية، فان الكحول الاثيلى يتحول الى مركب الأستيلدهيد وهو مادة كيميائية ، ذات رائحة نفاذة ، تستخدم فى صناعة اللدائن .

وعندما يعامل الكحول الايثلى بعامل مساعد ، يسمى الزيوليت ، فانه يتحول الى جازولين .

### الزيوليتات :

توجد هذه المواد ، فى الطبيعة ، فى الصخور البركانية ، وكرواسب من المواد الشبيهة بالطفلة ، وهى أكثر العوامل المساعدة ، المتعددة الأغراض ، استخداما فى الصناعة ، على نطاق واسع .

وهى احدى هدايا الطبيعة للكيميائيين ، لأنها ،

من وجوه كثيرة ، المثل الذى يجب أن يكون عليه العامل المساعد .

تتكون الزيوليتات من ثانى أكسيد السيليكون ، وكميات صغيرة من الألومنيوم ، ولها هندسة جزيئية محددة جيدا ، بها ثقب ، وقنوات ، وكهوف دقيقة .

وبسبب هذه الهندسة الدقيقة ، نجد أن الزيوليتات تقدم مساحات واسعة للغاية ، تسمح للعامل المساعد بالقيام بعمله .

وتبلغ هذه المساحات عدة مئات من الأمتار المربعة لكل جرام من الزيوليت .

وحسب حجم هذه القنوات وشكلها ، فإنها تسمح بمرور بعض الجزيئات دون غيرها .

### درجة أوكتين عالية :

ولو كان هذا كل ما فى الأمر ، لأمكن استخدام الزيوليتات كمناخل ، تقوم بترشيح الجزيئات ذات الحجم المختلفة .

وفى الواقع ، كان هذا هو المقصود منها ، عندما أدخلتها شركة ( يونيون كاربيد ) الى الأسواق ، فى أواخر الخمسينات .

وسرعان ما لاحظ ( بول وايز ) ، أحد علماء

شركة ( موبيل ) النابيهين ، ان مسام عدد كبير من الزيوليتات ، تناسب حجوم وأشكال جزيئات النفط .

وبدا فى دراسة الزيوليتات كمواود مساعدة ممكنة ، على أساس أن ذرات الألومنيوم ، داخل قنوات الزيوليت ، سوف تؤثر ، بطريقة حفازة ، على جزيئات نوعيه ، بحيث تصل بينها فى بعض الأحوال ، وتفصلها فى أحوال أخرى .

مثال ذلك أن العالم ( وايز ) ، وعددا غيره من علماء شركة ( موبيل ) ، وجدوا أن الزيوليتات تكسر الأيدروكربونات ، فى النفط الخام ، الى جازولين ذى درجة أوكتين عالية .

وبدأوا فى البحث عن زيوليتات تركيبية ، باستخدام طرق الهندسة الجزيئية .

### زيادة الانتاج بنسبة أربعين فى المائة :

ويتلخص النجاح الأول لعلماء شركة ( موبيل ) فى توصيلهم الى عامل مساعد تركيبى ، يستخدم فى عملية التكسير .

وقد طرح هذا العامل المساعد فى الأسواق ، فى عام ١٩٦٢ ، وأدى الى زيادة انتاج الجازولين بنسبة أربعين فى المائة ، بدون تغيير فى عدد وحدات التكسير .

واليوم نجد أن تسعين في المائة من وحدات التكسير المحفوز ، فى معامل تكرير النفط ، فى معظم بلاد العالم ، تستخدم الزيوليتات ، التى أصبحت صناعة تبلغ قيمة انتاجها ٢٥٠ مليوناً من الدولارات ، فى العام .

وقد تمكنت بعض الدول ، من التغلب ، الى درجة كبيرة ، على آثار حرب النفط ، التى شنتها الدول العربية ، فى عام ١٩٧٣ ، عندما قامت بانتاج جازولين اضافى ، عن طريق استخدام الزيوليتات .

#### عوامل مساعدة مفيدة :

ومنذ أوائل الستينات ، تمكن علماء شركة (موبيل) من تخليق أكثر من خمسين نوعاً من الزيوليتات ، وحولت ما يقرب من عشرة منها الى عوامل مساعدة مفيدة .

ومازال هؤلاء العلماء يبحثون عن استخدامات جديدة ، لأكثر منتجاتهم استخداماً ، وأوسعها انتشاراً ، ذلك الذى أطلقوا عليه اسم ZSM - 5

وهو يستخدم فى صور مختلفة ، فى عشر عمليات مختلفة ، لتحسين منتجات النفط ، والمنتجات الكيميائية ، ولصناعة أنواع الوقود التركيبى .

## تحويل الغاز الطبيعي الى جازولين :

والمنتظر ان يقوم مركب ZSM-5 بتحويل الدحون الميثيلي الى جازولين ، ذى درجة أوكتين عالية ، فى مصنع نيوزيلاندا ، الذى قامت ببنائه شركة (بشتل) ، بالاشتراك مع شركة (موبيل) لحساب شركة نيوزيلاندا للوقود التركيبى .

وسوف يقوم هذا المصنع بانتاج ثلث احتياجات البلاد من الجازولين ، من الغاز الطبيعى .

وفى هذا المصنع ، ينتج الكحول الميثيلى بالطرق التقليدية ، ثم يقوم مركب ZSM-5 بتحويل جزيئات الكحول الميثيلى الصغيرة ، الى جزيئات جازولين اكبر حجما ، فى داخل قنوات هذا العامل المساعد المسامى .

أما العامل المساعد الذى تنتجه شركة (كاتاليتيكا) لتحويل غاز الميثان الى كحول ميثيلى ، فانه من المنتظر أن يساعد هذا العامل المساعد على تخطى مرحلة (التسخين والضرب) الأولى فى العملية ، الأمر الذى يجعل من الممكن القيام بهذا العمل بطريقة اقتصادية ، الى درجة أكبر .

## انتاج مواد أخرى :

ان ما لمركب ZSM-5 من مقدرة مذهشة على تكوين جزيئات الجازولين ، ولا شئ غيرها ، لم يكن

نتيجة لتصميم مقصود .

الا أن علماء الكيمياء فى شركة ( موبيل ) قد تمكنوا من تخليق أنواع من مركب ZSM-5 ، تمكن العلماء من إيقاف عملية تحويل الكحول الميثيل الى جازولين ، لانتاج الايثلين والبروبيلين بدلا منه ، وهما مركبان مفيدان فى صناعة البتروكيماويات .

ويرى أحد الكيميائيين العاملين فى شركة (موبيل) أن لديهم الآن مصنعا للكيماويات ، يدار حسب الحاجة .

ان قصة الزيوليت لم تنته بعد . ويرى بعض الكيميائيين أن مئات التركيبات الجديدة من الزيوليتات، سوف يمكن تخليقها .

### كسر الروابط :

ان أحد المفاتيح المؤدية الى العامل المساعد الذى يقوم بتحويل غاز الميثان الى كحول ميثيل ، والى عمليات تحويل أخرى يشترك فيها الغاز الطبيعي ، هو أن يقوم مهندسو المواد المساعدة بتعلم كيفية كسر الروابط بين ذرات الكربون والهيدروجين ، أو اضعافها ، وذلك فى مكونات الغاز الطبيعي ، عند نقطة دقيقة .

وحتى اليوم ، نجد أن الكيميائيين الذين يحاولون تحويل الغاز الطبيعي ، الى أنواع أخرى من الوقود والكيماويات ، يعوقهم فى عملهم عدم ثبات الجزيئات

التي تتكون فى الطريق ، ويستمر التفاعل فى السير فى اتجاهات لا يرغب فيها الكيميائيون ، حيث أنها تعطى منتجات غير مطلوبة .

وقد بدأ العلماء ، مؤخرا ، يتعلمون من نظم الانزيمات الطبيعية ، كيف يتغلبون على هذه العقبة .

### انهم يتعلمون من الانزيمات :

ان بعض مزاوى هذا العلم الجديد للمحاكاة الحيوية ، الذى يهدف الى اضافة ما نتعلمه من الانزيمات ، الى العوامل المساعدة التى هى من صنع البشر . قد قطعوا شوطا فى أبحاثهم .

لقد وجدوا أن الانزيمات لها ميكانيكية للتخلص من الجزيئات غير الثابتة ، وإيقاف التفاعل عند نقطة معينة .

وبعد مجهود دام عشرة أعوام ، نجح الدكتور ( جيمس كولمان ) ، أستاذ الكيمياء فى جامعة ستانفورد، وأحد مستشارى شركة ( كاتاليتيكا ) فى تخليق عامل مساعد ، يقوم بمحاكاة ما تقوم به الانزيمات .

ومازال تصميم العوامل المساعدة عملا معقدا الى درجة كبيرة ، ومازال عدد كبير من التفاعلات المحفوزة غير مفهوم بدرجة كافية .

ولكن الكيميائيين لا يجدون فيما تمكنوا من تعلمه

فى المعامل ، وما أمكن تطبقه فى المصانع ، شىئاً  
ثورىاً .

وىقول الدكتور ( بروسى جىتس ) مءىر مركز  
علوم وتكنولوجيا المواد المساعءة ، فى جامعة ءىلاءىر :  
ان هءه لىست الا البءاءة ، ولكنها ءشىر الى ما ىنتظر أن  
ىتوصل الىه العلماء فى المستقبل .



## الطاقة النووية

---

### البحث عن موارد جديدة :

عندما تبين أن مصادر الطاقة المختلفة ، من فحم وبتترول وغاز ، سوف تنفذ بعد عدد من السنوات ، قدره البعض بخمسين عاما ، شرع العلماء فى البحث عن موارد جديدة للطاقة .

وفى عام ١٩٤٥ ، فجر الأمريكيون أول قنبلة ذرية ، فى صحراء نيومكسيكو . فرأى فيها العلماء بشائر طاقة جديدة ، لا يعرف أبعادها الا الله .

ثم بدأ العلماء فى اقامة المفاعلات النووية : يجرى فيها اطلاق الطاقة النووية ، وتحويلها الى طاقة حرارية ، تستخدم فى توليد الكهرباء .

جهز العلماء هذه المفاعلات النووية ، بأحدث ما قدمته التكنولوجيا الحديثة من وسائل الأمان . وسار كل شئ على أحسن حال .

كانت هناك بعض الصعوبات فى التخلص من

النفائات النووية • ولكن أحدا لم يكن يعرف ما يخبئ  
القدر من مفاجآت •

### الرعب النووى :

وفى أحد أيام شهر مارس من عام ١٩٧٩ ، طالعتنا  
صحف الصباح بأخبار مثيرة : لقد وقع حادث خطير  
لمفاعل ( ثرى مايل آيلاند ) النووى ، بولاية بنسلفانيا  
الأمريكية •

لقد تعرض نظام التبريد ، فى هذا المفاعل ،  
لخلل مفاجئ : ذلك أن فقاعة غاز قد اعترضت نظام  
التبريد ، الأمر الذى هدد قلب المفاعل بالانصهار  
الكامل ، أو الانفجار ، أو تسرب الاشعاعات القاتلة الى  
المنطقة المحيطة به •

وفى ٢ أبريل من عام ١٩٧٩ ، أعلنت السلطة  
المحلية والفدرالية ، فى ولاية بنسلفانيا الأمريكية ،  
حالة الطوارئ القصوى ، لمواجهة احتمالات الكارثة  
النووية ، التى قد تترتب على انفجار المفاعل النووى،  
فى محطة ( ثرى مايل آيلاند ) النووية •

واستعدت السلطات للقيام بأكبر عملية إجلاء  
للمدنيين ، تتم فى وقت السلم ، لنقل ما يقرب من  
مليون شخص ، من سكان المقاطعات الست للولاية ،  
الذين يعيشون فى مساحة تزيد عن ٣٢٥٥ كيلومترا  
مربعا •

## أخطار الإشعاعات الذرية :

عرفت السحابة الذرية ، لأول مرة ، عام ١٩٤٥ .  
بعد أول تجربة للقنابل الذرية ، فى صحراء نيومكسيكو  
الأمريكية .

ولكن لم يعرف العلماء مدى انتشارها ، واثارها ،  
الا فى العام التالى ، عندما تبين أن بعض افلام التصوير ،  
التي تستخدم فى المستشفيات ، لتصوير أعضاء المرضى ،  
باستخدام الأشعة السينية ، قد تعرضت للتشويش .

وتبين أن الورق المقوى ، الذى استخدم فى لف  
هذه الأفلام ، يحتوى على مواد مشعة .

لقد صنع هذا الورق من نباتات تزرع فى منطقة  
الغرب الأوسط الأمريكى . وقد تأثرت هذه المنطقة  
بالغبار الذرى ، الذى نتج عن القنبلة الذرية ، التى  
فجرها العلماء فى العام السابق .

وقرب نهاية الحرب العالمية الثانية ، فى عام  
١٩٤٥ ، ألقت قاذفات القنابل الأمريكية قنبلتين  
ذريتين على مدينتى هيروشيما وناجازاكي ، فى  
اليابان .

ولقى عدة آلاف من سكان المدينتين مصرعهم ،  
نتيجة للتعرض ، بصورة مكثفة ، للإشعاعات الذرية .  
لقد شكلت أكاديمية العلوم القومية الأمريكية لجنة

لمتابعة آثار التعرض للاشعاعات الذرية ، على الأحياء من اليابانيين ، الذين نجوا من الهلاك فى هاتين المدينتين المنكوبتين .

وتبين ان أهم هذه الآثار ، أعتام عدسة العين ، واصابة الغدة الدرقية بالأورام ، والاصابة بسرطان الدم ، والتغيرات الكروموسومية فى الكرات الدموية ، وضعف النمو ، وخاصة عند الصغار .

وظهر بعض حالات الاصابة بالتخلف العقلى ، بين أولئك الذين كانوا داخل أرحام أمهاتهم ، خلال الأشهر الثلاثة الأولى من الحمل .

واليوم ، وبعد مرور أكثر من ٤٣ عاما على القاء القنبليتين الذريتين على هاتين المدينتين ، نجد أن خطر الاصابة بالسرطان مازال قائما .

### ماذا حدث لسكان جزيرة بكينى ؟

فى الفترة بين عامى ١٩٤٦ و ١٩٥٨ ، أجريت فى جزيرة بكينى ، ٢٣ تجربة نووية من بينها ذلك التفجير الذى أجرى لقنبلة أيدروجينية ، ألقيت من طائرة ، فى عام ١٩٥٦ .

لقد أبعد سكان جزيرة بكينى ، وسكان عدد من الجزر الأخرى بالمنطقة ، قبل اجراء هذه التجارب .

وفى أواخر الستينات ، سمح لأهالى جزيرة بكينى  
بالمودة الى موطنهم .

لكن السلطات الأمريكية اضطرت الى اخلاء الجزيرة ،  
مرة أخرى ، فى أواخر السبعينات ، عندما تبين  
للمختصين ، خطورة الاشعاعات الذرية ، الناتجة عن  
التجارب النووية السابقة .

لقد دلت نتائج الاختبارات ، والدراسات ، على أن  
كمية الاشعاع الذى تتعرض له جزيرة بكينى ، والجزر  
المجاورة ، مازالت تزيد عن المستويات الآمنة .

وتبين أن المواد الاشعاعية ، التى تخترق العظام ،  
قد لا تصل الى مستوى الأمان ، فى جزيرة بكينى ، قبل  
مرور عشرات السنين .

### أمراض نتجت عن التعرض للاشعاع :

اكتشف الباحثون فى جامعة أمريكية ، حالات  
اصابة بسرطان الدم ، بين الأطفال الذين ولدوا فى  
مناطق تعرضت للفبار الذرى المتساقط ، بعد تجارب  
الأسلحة النووية ، التى أجريت فى ولاية نيفادا  
الأمريكية .

كما تعرض الجنود الذين اشتركوا فى هذه  
التجارب ، للاشعاعات الذرية ، التى أصابتهم بالمجزر ،  
بصور مختلفة .

لقد رفع بعض هؤلاء الجنود دعاوى ضد الحكومة الأمريكية ، يطالبون بتعويضات كبيرة ، عن هذه الاصابات الفادحة .

أما العاملون السابقون في مصنع هاتمورد ، بولاية واشنطن ، حيث كان يجرى إنتاج البوتونيوم اللازم لصناعة الأسلحة النووية ، فقد قام بعض العلماء بدراسة سجلاتهم .

لقد تبين أن هناك حالات اصابة بالسرطان ، وبغيره من الأمراض الناتجة عن التعرض للاشعاع ، بين أولئك الذين تعرضوا ، لفترات طويلة ، للاشعاعات الذرية .

### هل تسربت الاشعاعات الذرية من المفاعل ؟

أما بالنسبة لمفاعل ( ثرى مايل آيلاند ) النووى ، فقد وجد الخبراء فى مياه تبريد المفاعل ، بعض المواد الناتجة عن عملية الانشطار النووى فى قلب المفاعل ، وهى غاز الكريبتون ، وغاز الكسينون ، واليود ١٣٣ .

كما وجدت بعض الآثار الطفيفة للمعصرين المشعين ، الخطرين للغاية ، السيزيوم ١٣٧ ، والسترونشيوم ٩٠ ان عنصر السترونشيوم ٩٠ المشع ، الذى ينتج عن التفجيرات النووية ، تجده اليوم فى كل مكان تقريبا .

ومع الاستمرار فى التجارب النووية ، نجد أن

مستويات التلوث ، من هذا العنصر ، فى ارتفاع مستمر \*

يتساقط هذا العنصر على المراعى ، فترعى عليه الأبقار والأغنام ، فيؤثر فى ألبانها \*

وحين يشرب الانسان هذه الألبان ، تتلف عظامه وتمرض \*

والنسب العالية من هذا العنصر ، تؤثر فى نخاع العظام ، وتؤدى للوفاة \*

لقد أثرت المواد المشعة ، التى تسربت من مفاعل ( ثرى مايل آيلاند ) ، على منتجات الألبان ، فى المنطقة المحيطة بمدينة هاربسبرج ، عاصمة بنسلفانيا ، حيث تلوثت بكميات ضئيلة من الاشعاعات الذرية \*

ولكن مازالت قطعان الماشية تتغذى على أعلاف الشتاء ، التى لم تتعرض للتلوث بمادة اليود المشع ، الذى يمكن أن ينتقل مع الألبان ، الى الأطفال سريعى النمو ، حيث يتركز فى غددهم الدرقية ، فيعرضها للاشعاع القاتل \*

**هل تعرض العاملون فى المفاعل للاشعاع ؟**

يقام تعرض الأدميين للاشعاع ، بوحدات تسمى « ريم » \*

والواقع أن الأحياء ، على ظهر الأرض ، يتعرضون باستمرار ، للإشعاعات الصادرة من عدة مصادر .

ويمتد أن هذه الإشعاعات تساهم في عملية التقدم في السن .

ان عشرات من جزيئات الأشعة الكونية ، ذات الطاقة العالية ، تخترق أجسام البشر ، في كل ثانية .

لقد تعرض للإشعاعات ، ثمانية من العاملين في مفاعل ( ثرى مايل آيلاند ) النووي .

وتراوحت قوة الإشعاعات التي تعرضوا لها بين ريم ، وريم ونصف .

ويلاحظ أن الكمية المسموح بالتعرض لها ، لا ينبغي أن تزيد عن ٣ ريم في كل ثلاثة شهور ، أو خمسة في كل عام .

### تركيب المادة :

وحتى يمكن لنا أن نفهم جيدا ما حدث في مفاعل ( ثرى مايل آيلاند ) النووي ، فانه يجب علينا أن نراجع باختصار ، معلوماتنا السابقة في تركيب المادة .

تتكون جميع المواد من ذرات صغيرة . ففي قطرة ماء صغيرة ، تجد ٣٠ ألف مليار ذرة أوكسجين ، و ٦٠ ألف مليار ذرة أييدروجين .



تتكون الذرة من نواة ، تدور حولها الالكترونات  
بسرعة تبلغ سبعة ملايين مليار دورة في الثانية .

وتتكون نواة الذرة من بروتونات ونيوترونات .  
والبروتونات جسيمات تحمل شحنات كهربية موجبة ،  
أما النيوترونات فهي جسيمات لا تحمل شحنة كهربية .

والبروتونات والنيوترونات لها نفس الكتلة  
تقريبا .

أما الالكترونات ، فهي جسيمات تحمل شحنة  
كهربية سالبة ، مساوية في المقدار لشحنة البروتون .  
وتبلغ كتلة الالكترون الواحد  $1/2000$  من كتلة  
البروتون أو النيوترون .

ويوجد في الذرة من الالكترونات ، عدد مساو لعدد  
البروتونات الموجودة في نواة هذه الذرة . وعلى ذلك ،  
فالذرة متعادلة كهريا .

والذرات صغيرة للغاية . إلا أن نواة الذرة أصغر  
كثيرا من الذرة نفسها . ويقدر العلماء أن قطر الذرة  
يبلغ حوالي  $10^{-10}$  مرة قطر نواة الذرة ، التي تتركز  
فيها كتلة الذرة .

ويقدر أن كثافة نواة الذرة أكثر من ١٠٠  
مليون طن لكل سنتيمتر مكعب .

## العناصر الكيميائية والنظائر :

تحدد الذرة بعدد البروتونات ، وعدد النيوترونات ،  
التي تحتوى عليها نواة الذرة ، ويسمى هذا العدد بالعدد  
الذرى .

والذرات التي لها نفس العدد الذرى لها نفس  
الخواص الكيميائية ، حتى ولو لم تكن تحتوى على  
نفس العدد من النيوترونات .

انها تنتمى الى نفس العنصر الكيميائى الذى يرمز  
له برمز معين . مثال ذلك أنه يرمز لعنصر الأيدروجين  
بالرمز ( يد ،  $H$  ) .

ويوجد فى الطبيعة ٩٠ عنصرا كيميائيا . كما  
أمكن تخليق عدد من العناصر الكيميائية ( مثل عنصر  
البلوتونيوم ) .

أما الذرات التى تحتوى على نفس العدد من  
البروتونات ، وعلى عدد مختلف من النيوترونات ، فإنه  
يطلق عليها اسم النظائر .

ونظائر نفس العنصر تختلف فى أوزانها الذرية،  
ولكنها تتشابه فى خواصها الكيميائية .

أما الخواص الفيزيائية لنظائر نفس العنصر ،  
فهى خواص مختلفة . وكذلك الحال بالنسبة للخواص  
النووية .

ويوجد من النظائر ٣٢٥ نظيرا طبيعيا ، كما أمكن  
تخليق ١٢٠٠ نظير آخر .

وبواسطة الكتروناتا ، تتجمع الذرات لتسكون  
الجزيات .

وكل نوع من الجزيات يميز مادة معينة نقية .  
الا أن معظم المواد التى نقابلها فى الطبيعة ، ليست  
الا خليطا من نوعين أو اكثر ، من هذه الجزيات .

### حالات المادة :

توجد الأجسام فى حالات مختلفة ، حسب درجة  
حرارتها .

ف عند درجات الحرارة المنخفضة ، تكون الجزيات  
تحت تأثير حركات تذبذبية ضعيفة . لذلك ، فان  
الجزيات تبقى مرتبطة ببعضها البعض ، حسب نظام  
هندسى منتظم .

وتسمى هذه الحالة ، بالحالة الصلبة ، ومن  
أمثلتها الجليد .

فاذا ارتفعت درجة الحرارة ، زاد مدى حركة  
الجزيات فى الانزلاق فوق بعضها البعض ، وينصهر  
الجسم الصلب ، ويتحول الى الحالة السائلة ، ومن  
أمثلتها الماء .

واذا زادت درجة الحرارة أكثر من ذلك ، تصبح

الجزئيات مستقلة عن بعضها البعض • وتتحول المادة الى الحالة الغازية • ومن أمثلة ذلك بخار الماء •

وعند درجات الحرارة شديدة الارتفاع ، تتحطم الجزئيات والذرات ، تحت تأثير التصادمات العنيفة ، وتفقد إلكتروناتها تدريجيا • عندئذ يقال أن الذرات قد تأينت •

ويسمى هذا الخليط من الالكترونات ، والذرات المتأينة ، باسم البلازما • ومن أمثلة ذلك ما هو حادث داخل الشمس •

هذه هي حالات المادة الأربعة • أما درجات الحرارة التي يحدث عندها التغير من حالة الى أخرى ، فانها تختلف من مادة الى أخرى •

هذه صورة مبسطة للغاية ، لتركيب المادة • وذلك لأن هناك في الحقيقة عدة عشرات من الجسيمات الأولية ، بخلاف الالكترون والبروتون والنيوترون • ولكن هذه الصورة المبسطة تسمح بتقديم الاستخدامات الرئيسية للطاقة النووية •

### النشاط الإشعاعي :

في الطبيعة ، نجد أن الذرات ليست كلها ثابتة • فبعض الذرات يتحول تلقائيا الى ذرات أخرى ، ( أشعة ألفا ، وأشعة بيتا ، وأشعة جاما ) •

وهذه الظاهرة مستقلة تماما عن الالكترونات ،  
وبالتالى عن الخصائص الكيميائية للذرة .

وعلى ذلك ، فان نواة ذرة اليورانيوم ، تتحول ،  
عن طريق عدد من التحولات الوسيطة ، الى صورة ثابتة  
( وهى عنصر الرصاص ٢٠٦ ) .

ويلاحظ أن كل تفاعل تحلل ، يطلق الطاقة ، على  
صورة أشعة .

أشعة ألفا :

وتتكون من نواة ذرة الهيليوم ، التى تحتوى على  
بروتونين ونيوترونين ، وهى بذلك تحمل شحنتين من  
الكهرباء الموجبة .

وذرة اليورانيوم ٢٣٨ ، التى يثقل نواتها  
البروتونات والنيوترونات ، تتحول الى ذرة ثوريوم  
٢٣٤ ، مطلقة أشعة ألفا .

أشعة بيتا :

وتتكون من الكترونات .

ومن الحالات التى تطلق فيها أشعة بيتا ، حالة ذرة  
عنصر الثوريوم ٢٣٤ ، التى تثقل نواتها النيوترونات .  
عندما تتحول ذرة عنصر الثوريوم ٢٣٤ ، الى ذرة  
عنصر ، البروتواكتينيوم ، يتحول نيوترون الى بروتون ،  
وتطلق النواة الكترونا سالبا .

## أشعة جاما :

وهي ذبذبة مغناطيسية كهربية ، ذات طول موجة قصير للغاية . وطبيعتها مشابهة لطبيعه الاشعة السينية .

تتخلص النواة من جانب كبير من الطاقة ، الذي يرجع الى ان البروتونات ، والنيوترونات ، لم تصل الى حالة الاتزان .

ويلاحظ أن اطلاق أشعة جاما ، يكون دائما مصحوبا باطلاق أشعة ألفا وبيتا .

## التفاعلات النووية الصناعية :

فى عام ١٩١٩ ، تمكن العالم البريطانى ( رذرفورد ) من الوصول ، لأول مرة ، الى تفاعل نووى صناعى .

لقد تمكن من تحويل ذرات عنصر النيتروجين ، الى ذرات أيديروجين وأوكسجين ، وذلك بقذفها بقذائف يتكون كل منها من نواة عنصر الهيليوم .

وفى عام ١٩٣٤ أمكن تحويل ذرات الألومنيوم ، الى ذرات فوسفور ، ونيوترونات وذلك بقذفها بقذائف من نواة عنصر الهيليوم .

لقد كانت ذرات الفوسفور الناتجة ، ذات نشاط اشعاعى . فتحوّلت الى ذرات عنصر السيليكون ٣٠ الثابتة ، وذلك باطلاق أشعة بيتا .

وقد أمكن ، بهذه الطريقة ، الحصول على أول  
عنصر مشع مصنوع .

### إطلاق الطاقة النووية :

تتكون نواة الذرة من جسيمات غير مشحونة  
كهرييا ، وهى النيوترونات ، وجسيمات مشحونة  
بالكهربية الموجبة ، وهى البروتونات .

ولما كانت البروتونات تحمل شحنات كهربية  
متشابهة فى الاشارة ، فانها تتنافر مع بعضها البعض .  
ولكنها مع ذلك تبقى متماسكة .

وتكون كتلة النواة أقل من مجموع كتل مكوناتها ،  
لو كانت حرة .

وعلى ذلك ، نجد فى النواة نقصا فى الكتلة يعادل  
كمية معينة من الطاقة ، تلزم لحفظ مكونات النواة  
مترابطة مع بعضها البعض .

ويجب مد النواة بهذه الكمية من الطاقة ، حتى  
تتفكك مكوناتها .

وقد وجد أن هذه الطاقة تساوى النقص فى  
الكتلة ، مضروباً فى مربع سرعة الضوء ، أو ، بعبارة  
أخرى الطاقة = النقص فى الكتلة  $\times$  مربع سرعة  
الضوء .

وبسبب كبر سرعة الضوء ( ٣٠٠ ألف كيلو متر  
فى الثانية ) ، فإن نقصاً صغيراً فى الكتلة ، يقابله  
كمية هائلة من الطاقة .

على أن هذا النقص فى الكتلة ( أو طاقة الترابط التى تتناسب معه ) ليس متساويا فى كل نواة . ذلك أنه يختلف من نواة الى أخرى .

ان هذه الطاقة صغيرة نسبيا فى نواة خفيفة ، مثل نواة ذرة الأيدروجين . كما أنها كبيرة للغاية فى نواة متوسطة ، مثل نواة ذرة الحديد . الا أنها اقل من مستوى الطاقة فى نواة ثقيلة ، مثل نواة ذرة اليورانيوم .

وتظهر الطاقة النووية نتيجة لاختفاء المادة ، أو بعبارة أخرى ، نتيجة لزيادة فى نقص الكتلة .

ولإطلاق الطاقة النووية ، فانه يلزم عمل تغيير يؤدى الى انتاج أنوية متوسطة الكتلة ، يصل فيها النقص فى الكتلة الى نهايته العظمى .

ومن هنا كانت فكرة اكتشاف نوعين من التفاعلات النووية ، التى تؤدى الى إطلاق طاقة النواة :

- ١ - انشطار النواة الثقيلة الى نواتين أقل وزنا .
- ٢ - اندماج أنوية خفيفة ، لتكوين نواة أثقل وزنا .

### الانشطار النووى :

ان انشطار نواة ثقيلة ( مثل نواة ذرة اليورانيوم ٢٣٥ ) تحت تأثير قذفها بنيوترون ، يؤدى الى تكوين نواتين أخف وزنا .



ويصاحب هذا الانشطار النووي ، انطلاق الطاقة النووية ، بسبب النقص فى الكتلة .  
كما يؤدى ، فى نفس الوقت ، الى تحرير نيوترونين أو ثلاثة .

### التفاعل المتسلسل :

ويستطيع كل نيوترون ، ينتج عن التفاعل السابق ، أن يبدأ بدوره تفاعلا انشطاريا ، يؤدى الى انطلاق عدد من النيوترونات ، يقوم كل منها ، بدوره ، ببدء تفاعل انشطارى ، وهكذا .

ويسمى هذا بالتفاعل المتسلسل .

### الكتلة الحرجة :

ويمكن للنيوترونات أن تمتص فى اليورانيوم ٢٣٨ ، كما يمكن أن تهرب ، دون أن تقوم بدورها فى بدء تفاعل انشطارى .

ولكن ، حتى يمكن للتفاعل المتسلسل أن يستمر ، فإنه يجب علينا أن نجتمع ، فى حجم معين ، كمية كافية من الأنوية القابلة للانشطار ، ( وهو ما يسمى بالكتلة الحرجة ) . وذلك حتى يكون عدد النيوترونات المؤثرة ( أو تلك التى تؤدى الى الانشطار ) أكبر من عدد النيوترونات غير المؤثرة ( التى تمتص أو تهرب ) .

## القنبلة الذرية والمفاعل النووى :

تتكون القنبلة الذرية من كتلة حرجة ، من مادة انشطارية ، ينتشر فيها التفاعل المتسلسل ، بسرعة كبيرة للغاية ، تؤدى الى تفاعل متفجر ، يطلق كمية هائلة من الطاقة .

أما المفاعل النووى ، فانه يتكون من كتلة حرجة ، من مادة انشطارية ، يجرى فيها تفاعل متسلسل ، بحيث يمكن التحكم فيه بطريقة يمكن معها اطلاق الطاقات ، بكميات معينة ومحسوبة .

## الاندماج النووى :

وهو تفاعل الأنوية الخفيفة ، مثل أنوية الديوتيريوم ، أو التريتيوم ، التى تندمج لتكون نواة أثقل .

ويمصاحب هذا التفاعل النووى اطلاق للطاقة ، نتيجة للنقص فى الكتلة .

ويلاحظ أن ظاهرة الاندماج النووى لا يمكن تحقيقها الا عند درجات حرارة مرتفعة للغاية ، تبلغ مئات الملايين من الدرجات .

ويلزم لهذا الغرض اثاره حرارية مرتفعة ، لتقريب الأنوية التى تحمل شحنات كهربية ، من نفس النوع ، من بعضها البعض .

ويجرى هذا الاندماج النووى ، بصورة طبيعية ، فى الشمس والنجوم .

كما يتم ، بصورة صناعية ، فى عملية تفجير القنبلة الأيدروجينية ، حيث يمكن الوصول الى درجة الحرارة الابتدائية المرتفعة ، نتيجة لتفجير قنبلة ذرية .

ويقوم العلماء ، اليوم ، بدراسة الظروف التى تسمح بتحقيق الاندماج النووى ، الذى يمكن التحكم فيه ، بحيث يمكن الاستفادة من الطاقة الناتجة .  
**استخدام الطاقة النووية فى توليد الكهرباء :**

ويمكن الاستفادة من الطاقة النووية ، التى تنتج عن تفاعل الانشطار النووى ، الذى يحدث داخل مفاعل نووى ، على صورة طاقة حرارية ، فى توليد الكهرباء .

ان التفاعل الانشطارى لجرام واحد من عنصر اليورانيوم ٢٣٥ ، يطلق من الطاقة ما يعادل الطاقة الناتجة عن احتراق طنين ونصف طن من الفحم .

**المفاعل النووى :**

ان تشغيل مفاعل نووى ، يعنى أن نتيح الفرصة ، لتفاعل انشطارى متسلسل ، ليأخذ مجراه ، وأن نتحكم فى هذا التفاعل ، بحيث يبقى دائما عند مستوى ثابت .

ويمكن للنيوترونات الناتجة عن هذا التفاعل الانشطارى :

- - أن تبدأ تفاعلات انشطارية جديدة .
  - - أن تمتصها أنوية غير منشطة .
  - - أو أن تهرب من المفاعل النووي .
- ويجب إيجاد اتزان بين هذه الاحتمالات الثلاثة ، بحيث يبقى عدد التفاعلات الانشطارية ثابتاً .
- إن حدوث ألف تفاعل انشطاري ، يؤدي الى توليد حوالي ٢٥٠٠ نيوترون .
- ولحفظ عدد التفاعلات الانشطارية ثابتاً ، يجب أن يشترك ألف نيوترون في تفاعلات انشطارية جديدة ، بينما يمتص ، أو يهرب ، ١٥٠٠ نيوترون .
- ويتم اختبار مواد البناء ، وحساب حجم المفاعل النووي ، بحيث يمكن تحقيق هذا الاتزان .
- ويجرى التنظيم الدقيق لهذا التفاعل ، باستخدام قضبان التحكم .

### الوقود النووي :

- تنقسم أنواع الوقود النووي ، المستخدم في المفاعلات النووية ، الى ثلاثة أنواع :
- اليورانيوم الطبيعي ، واليورانيوم الذي زيدت فيه نسبة اليورانيوم ٢٣٥ ، ثم البلوتونيوم .

ويحتوى اليورانيوم الطبيعى على نظيرين :  
اليورانيوم ٢٣٨ ، واليورانيوم ٢٣٥ . ويحسب  
اليورانيوم الطبيعى على ٩٩.٣٪ من اليورانيوم ٢٣٨ ،  
و ٠.٧٪ من اليورانيوم ٢٣٥ .  
ان أنوية اليورانيوم ٢٣٥ هى وحدها القابلة  
للانشطار .

أما أنوية اليورانيوم ٢٣٨ ، فيمكنها اقتناص  
النيوترونات ، لتتحلل الى عنصر البتونيوم ٢٣٩ ، ثم  
ثم الى البلوتونيوم ٢٣٩ القابل للانشطار .  
**تخفيض سرعة النيوترونات :**

وفى داخل المفاعل النووى الذى يعمل باليورانيوم  
الطبيعى ، أو باليورانيوم الذى زيدت فيه نسبة انظير  
٢٣٥ بدرجة صغيرة ، نجد أنه من الضرورى تخفيض  
سرعة النيوترونات ، التى تنطلق من النواة ، أثناء  
انشطارها .

ويكون انطلاقها بسرعات كبيرة ( حوالى ٢٠ ألف  
كيلو متر فى الثانية ) .

ويزداد احتمال قيام هذه النيوترونات باحداث  
انشطارات جديدة ، كلما انخفضت سرعتها ، وبالتالي  
طاقتها ، الى مستوى الاهتزاز الحرارى ، عند درجة  
حرارة اليورانيوم ( حوالى ٢ كيلو متر فى الثانية ) .  
وعلى ذلك ، فانه يجب تحويل النيوترونات السريعة ،  
الى نيوترونات بطيئة ، أو نيوترونات حرارية .

ولتخفيض سرعة النيوترونات ، تستخدم مواد مثل الجرافيت ، أو الماء الثقيل ، تحتوى على أنوية خفيفة .

ويلاحظ أن قدرة أنوية هذه المواد على تخفيض سرعة النيوترونات ، تزداد ، كلما كانت هذه الانوية قريبة من كتلة النيوترون .

ذلك أنه من المشاهد ، أننا اذا قذفنا بلية صغيرة ، الى كرة بلياردو ، فان البلية ترتد ، دون أن تصد سرعتها .

أما اذا قذفنا هذه البلية الى بلية أخرى ، فانها تنقل اليها جزءا من طاقتها ، أو قد تنقل طاقتها كلها ، وبذلك تقل سرعتها .

ولابطاء سرعة النيوترون الناتج عن الانشطار ، الى سرعة الاهتزاز الحرارى ، فانه يجب أن يتعرض هذا النيوترون الى ٢٢٠٠ تصادم مرن مع أنوية عنصر اليورانيوم ٢٣٨ ، أو ١٥٠ تصادما مرنا مع أنوية عنصر الأوكسجين ، أو ١١٤ تصادما مرنا مع أنوية عنصر الكربون ، أو ٣٥ تصادما مرنا مع أنوية الديوتيريوم ( الأيدروجين الثقيل ) ، أو ١٨ تصادما مرنا مع أنوية الأيدروجين الخفيف .

ولكن يجب ألا ننسى أن بعض الأنوية تحتفظ بتلك النيوترونات التى تصطدم بها .

ولعمل أقل المواد المخفضة للسرعة احتفاظا

بالنيوترونات ، هى الماء الثقيل ، وكربون الجرافيت .  
ويتم اختيار مخفض سرعة النيوترونات ، حسب  
تكاليف شرائه ، وحسب قدرته على خفض سرعة  
النيوترونات ، وعلى الطريقة التى يمتص بها هذه  
النيوترونات .

### المبردات أو الموائع الناقلة للحرارة :

وننقل الحرارة من قلب المفاعل الى خارجه ،  
يستخدم مائع مثل غاز ثانى اوكسيد الكربون ، تحت  
ضغط مرتفع ، لان هذا المائع يمكن بسهولة امراره  
بسرعة فى المفاعل ، ولأنه ينقل الحرارة بصورة  
مرضية .

أضف الى ذلك أن هذا الغاز خافض جيد لسرعة  
النيوترونات ، ولا يمتص الا عددا قليلا من تلك  
النيوترونات .

وهناك مبردات أخرى ، مثل الهيليوم ، والماء  
العادى تحت ضغط جوى ، أو تحت ضغط مرتفع أو  
فى حالة غليان ، أو الماء الثقيل ، أو الفلزات السائلة  
( مثل الصوديوم ) ، أو السوائل العضوية ( مثل  
الأيدروكربونات ) .

وعند خروجها من المفاعل، تمر هذه الموائع الناقلة  
للحرارة ، داخل مبادلات حرارية ، حيث تحول الماء الى  
بخار ، دون أن تلامسه .

وهذا البخار يقوم بإدارة التربينات ، فى محطة توليد الكهرباء .

### التحكم فى المفاعل :

ولتنظيم سرعة التفاعل المتسلسل ، الذى يجرى داخل المفاعل النووى ، تستخدم قضبان التحكم .

وهى قضبان مصنوعة من مواد شديدة الامتصاص للنيوترونات ، مثل البورون أو الكادميوم .

إذا أنزلت هذه القضبان الى قلب المفاعل النووى ، قلت نشاطيته . أما إذا رفعت بعيدا عنه ، زادت نشاطيته .

وهناك قضبان للأمان ، تصنع من نفس مواد القضبان السابقة . وهى تسقط بطريقة آلية ، داخل المفاعل النووى ، فى حالة حدوث حادث طارئ ( مثل خلل فى دائرة التبريد ) ، بحيث يتوقف التفاعل المتسلسل فى الحال .

ويجرى التحكم فى المفاعل ، من غرفة تجمع فيها أجهزة التشغيل ، وأجهزة القياس التى تبين المعلومات اللازمة ، مثل شدة مجال النيوترونات ، ودرجة حرارة الوقود النووى ، ودرجة الحرارة وضغط المائع الناقل للحرارة ، وما الى ذلك .



وثمة جهاز هام آخر ، للتحكم فى المفاعل النووى ،  
ألا وهو جهاز مراقبة تمزق الأغلفة .

ذلك أن عناصر الوقود النووى ، تغلف فى أغلفة  
معدنية ، وذلك لمنع انتشار نواتج الانشطار ، فى  
دائرة التبريد .

هذه الأغلفة المعدنية ، معرضة للتشقق ، تحت تأثير  
درجة الحرارة المرتفعة ، والأشعاع لذلك ، كان من  
الضرورى أخذ عينات من المائع الناقل للحرارة ،  
وتحليلها ، وتكرار ذلك بصفة مستمرة .

ماذا حدث فى محطة ( ثرى مايل آيلاند ) النووية ؟

حدث انسداد فى أنبوبة فى نظام التبريد ، الخاص  
بالمفاعل النووى . وتوقفت مضخة تبريد المفاعل عن  
تأدية وظيفتها .

وتكونت فقاعة غازية ، تتكون من خليط من  
غازات الأيدروجين ، والكربيتون ، واليود ١٣٣ .  
وتمددت الفقاعة ، بتأثير الحرارة ، حتى بلغ حجمها  
١٨٠٠ قدما مكعبا .

وتركزت جهود العلماء فى التخلص من هذه الفقاعة ،  
وذلك بتحويل الأيدروجين الى ماء ، حتى يمكن لنظام  
التبريد ، فى المفاعل النووى ، أن يعاود سيرته الأولى .  
وبذلك يمكن تفادى احتمال انصهار قلب المفاعل ،

الأمر الذى كان من الممكن ، أن يؤدى الى أضخم كارثة  
فى تاريخ البشرية •

وتجمع معظم التفسيرات على أن الأسباب تنحصر  
فى أسلوب الأمان الذى اتبعه مصممو هذه المحطة  
النوية •

وهذا الأسلوب لم يختبر قبل تشغيل المحطة ، ولا بد  
أن تكون به ثغرة أدت الى ما حدث ، وذلك بالرغم من  
أن الفحص النظرى الدقيق لهذا الأسلوب قد بين أنه  
الأسلوب الأمثل لتأمين محطة الطاقة النووية •

## البحث عن مفاعل نووى آمن

---

### كارثة تشيرنوبيل :

فى صباح يوم ٢٦ ابريل من عام ١٩٨٦ ، شهد سكان مدينة تشيرنوبيل ، فى ولاية أوكرانيا السوفيتية ، أسوأ ما يمكن أن يحلم به المهندس النووى : مفاعل نووى ، يحرم قلبه الساخن ، الذى يحتوى على اليورانيوم ، من ماء التبريد ، ويطلق المفاعل فى البيئة المحيطة ، مواد مشعة ، ذات خطر كبير .

ولكن فى الوقت الذى تمكن فيه الفنيون من التحكم فى هذا المفاعل ، علم الناس أنه قد مات ٢٦ شخصا ، فى تلك المنطقة ، بسبب الاشعاع النووى ، وأصبحت تشيرنوبيل اسما مرادفا للكوارث .

وقد لا يعرف العدد الكلى لأولئك الذين تأثروا بذلك الحادث ، بما فى ذلك أولئك الذين قد يصابون بالسرطان ، نتيجة لتعرضهم للاشعاع .

## مفاعل لا يتأثر بالحوادث :

ان ما حدث فى تشيرنوبيل ، مثله فى ذلك مثل ما سبق ان حدث فى ( ثرى مايل ايلاند ) ، فى الولايات المتحدة ، قبل ذلك بعدة أعوام ، قد ركز الاهتمام على أهمية سلامة المفاعلات النووية ، التى تستخدم فى توليد القوى الكهربائية .

وبالرغم من أنه لم يكن هناك إطلاق كبير للإشعاع ، فى حادث ( ثرى مايل آيلاند ) ، ولم يقتل احد أو يصب ، فى ذلك الحادث ، فقد ردد الناس نفس السؤال :

هل يمكن للمهندسين تصميم مفاعل لا يتأثر بالحوادث (Accident-Proof) ، ويمكنه ان يحسب نفسه من فشل الوظائف الميكانيكية ، والأخطاء البشرية ؟  
**احتياجات الأمان :**

لقد تم بحث هذا الموضوع ، فى مقال نشر فى مجلة **Scientific American** كتبه ( ريتشارد لستر ) ، أستاذ الهندسة النووية ، فى معهد مساشوستس للتكنولوجيا . وقد كتب هذا المقال قبل حادث تشيرنوبيل .

وفى هذا المقال ، ذكر هذا الأستاذ أن ازدياد الاهتمام بأمان المفاعلات النووية ، يهدد باستمرار ، استخدام المفاعلات النووية ، فى توليد القوى الكهربائية .

« فى السنوات الأخيرة ، ارتفعت ، الى درجة كبيرة ، تكاليف انشاء المفاعلات النووية ، بحيث عجزت بعض المحطات النووية الحديثة ، عن توليد الكهرباء بأسعار منافسة ، بالرغم من أن معظم المحطات النووية الحالية ، تعمل بطريقة اقتصادية » .

« ويأتى جانب كبير من النفقات ، من جانب احتياجات الأمان التى تفرض على هذه المحطات النووية » .

« وفى السنوات الأخيرة ، زادت تكاليف هذه المحطات النووية ، بسبب زيادة التعقيدات فى احتياجات الأمان هذه » .

### تفاعل متسلسل :

وفى المفاعلات النووية التجارية ، تشع ذرات اليورانيوم ، باستمرار ، جسيمات تسمى نيوترونات ، تضرب ذرات اليورانيوم المجاورة ، وينتج عن ذلك أن تعطى هذه الذرات ، نيوترونات ، هى الأخرى .

ويؤدى هذا التفاعل المتسلسل الى اطلاق حرارة ، تمتص فى الماء ، الذى يغطى وقود اليورانيوم .

يوجد هذا الماء تحت ضغط مرتفع للغاية ، ويدور من خلال مبادل حرارى ، يدور فيه ماء طازج ، يأتى من خارج المفاعل ، فيسخن الماء ، ويغلى ، ويتحول الى بخار ، يدير تربينا ، يولد القوة الكهربائية .

وإذا حدث ، عند أية نقطة ، أن خرج ماء التبريد من هذا النظام ، فإن درجة حرارة الوقود قد ترتفع الى مستويات تهدد بالخطر .

وإذا لم يمكن ايقاف التفاعل المتسلسل ، فإن الوقود المنصهر قد يكون كتلة منصهرة مشعة ، تحرق سبيلها الى باطن الأرض ، فتلوّث موارد المياه الجوفية .

### نظم أمان معقدة :

وقد جاء فى مقال الأستاذ ( لستر ) ، أنه ، فى مثل هذه الأحوال ، يجب على نظم الأمان فى المفاعل ، أن تقوم بواجبين : اغلاق المفاعل تماما ، وايقاف التفاعل المتسلسل تماما ، والتأكد من أن الحرارة التى تولدها نواتج الانشطار النووى ، تزال ، بحيث لا يصبح وقود المفاعل ساخنا الى درجة زائدة .

وإذا أصبح الوقود كذلك ، فإن نواتج الانشطار النووى قد تهرب من المفاعل ، وتدخل الى البيئة المحيطة به .

وفى المفاعلات النووية الحالية ، نجد أن هذين الواجبين يجرى تنفيذهما عن طريق نظم أمان معقدة ، تحتاج ، فى كثير من الأحوال ، الى تدخل أولئك القائمين بتشغيل المفاعل ، لبدء تشغيل نظم الأمان .

ومن المعروف أنه قد تفشل أحيانا طلبات منفردة ،  
أو صمامات ، وغير ذلك من المعدات ، فى المحطات  
النوية .

وعلى ذلك ، فان تصميم المفاعلات النووية الحالية،  
يعمل على معادلة امكانية حدوث ذلك الفشل ، عن  
طريق اعداد نظم مساعدة ، من انواع متعددة ، لتعمل  
فى حالة فشل النظام الأول ، فى العمل بالطريقة  
المطلوبة .

وبإضافة هذه النظم المساعدة ، تزداد تكاليف  
هذه المفاعلات النووية .

### جزء لا يتجزأ من التصميم :

ان النظم الاضافية الميكانيكية المتعددة ، غالية  
الثلث بالطبع .

ويرى الأستاذ ( لستر ) أنه من الممكن تصميم  
مفاعلات نووية آمنة ، بدون أن يؤدى ذلك الى افلاس  
المؤسسات التى تقوم بتوزيع القوى الكهربائية .

والطريق الى ذلك هو جعل الأمان جزءا لا يتجزأ  
من التصميم ، وليس شيئا يضاف فيما بعد .

وفى حالة حدوث حادث ، فان قوانين الفيزياء  
البسيطة ، تجعل المفاعل يوقف نفسه بنفسه ، بدون  
تدخل بشرى أو ميكانيكى .

## تجربة مثيرة :

وبالرغم من أن هذا قد يبدو أمرا بعيد المنال ،  
فانه ليس كذلك .

ففى يوم ٣ ابريل ، وقبل حادث تشيرنوبيل بثلاثة  
أسابيع ، وفى مكان بعيد للاختبارات ، فى ولاية ايداهو  
الأمريكية ، قام الفنيون الأمريكيون بعمل لم يسبق أن  
حلم به أحد من القائمين بتشغيل المفاعلات النووية .  
لقد قاموا بتشغيل مفاعل نووى تجريبى ( ٢٠  
ميغاوات ) الى قوته الكاملة ، ثم أوقفوا سريان السائل  
المبرد ، الى قلب ذلك المفاعل ، الذى يتكون من  
اليورانيوم .

وفى مثل هذه الظروف ، وفى أى مفاعل نووى  
عادى ، نجد ان قلب المفاعل ترتفع درجة حرارته كثيرا ،  
وينصهر الوقود النووى ، مؤديا الى كارثة ، تشبه تلك  
التي حدثت فى تشيرنوبيل .

ولكن ذلك لم يحدث فى ولاية ايداهو .

## الصوديوم السائل :

وبدلا من ذلك ، أوقف المفاعل النووى نفسه ،  
بدون معونة من الفنيين .

لماذا ؟ وكيف كان ذلك ؟

ان أحد الأسباب هو أن قلب المفاعل كان مغمورا فى  
بحيرة ، من الصوديوم السائل ، عمقها عشرة أمتار .



ان (تشارلز تيل) رئيس برنامج تطوير المفاعلات النووية ، فى معمل ارجون الوطنى ، بجوار شيكاغو ، يفسر ذلك الأمر بأنه بخلاف الماء الذى يبرد المفاعلات التقليدية ، فان الصوديوم السائل لا يغلى ولا يتبخر بسرعة وسهولة .

وعند درجات حرارة تشغيل المفاعلات النووية ، زهى حوالى ٥٠٠ درجة مئوية ، نجد ان الصوديوم السائل يبقى كما هو سائلا ، فهو لا يغلى الا عندما تصل درجة الحرارة الى حوالى ٩٠٠ درجة مئوية .

ولذلك ، فانه عند حدوث أى حادث ، مثل توقف المضخات التى تدفع السائل المبرد الى داخل قلب المفاعل ، فان خاصية *Thermoinertia* الصوديوم السائل ، كافية لتبريد قلب المفاعل ، لفترة زمنية معينة .

وهذه الخاصية ، هى السبب الأول فى اختيار الصوديوم السائل لهذا الغرض .  
مزايا متفوقة :

ان مفاعل ايدهو ، الذى يبرد بالصوديوم السائل ، ما هو الا جهاز تجريبي ، يجرى استخدامه ، لاختبار المبادئ التى يمكن استخدامها فى جيل جديد من المفاعلات النووية ، المستخدمة فى توليد القوى الكهربائية .

والتصميم الجديد سوف يطلق عليه اسم IFR

## Integral Fast Reactor

وهي الحروف الأولى من  
( أى المفاعل السريع التكاملى ) ، سوف يكون مبردا  
بالصوديوم السائل .

وبالإضافة الى مقدرته على امتصاص كميات كبيرة  
من الحرارة ، فى حالات الطوارئ ، فان له مزايا  
أخرى ، تفوق ما للماء من مزايا .

ويشرح ذلك ( تشارلز تيل ) بقوله : « اذا استخدم  
الماء الخفيف للتبريد ، للوصول الى درجات حرارة  
تكفى لتوليد الكهرباء بكفاءة ، فانه يجب ابقاء الماء ،  
تحت ضغط مرتفع ، لمنعه من الغليان » .

وهذا هو نظام الضغط العالى ، الذى يحتاج الى  
اناء سميك الجدران ، ليتحمل الضغط .

وفى حالة المفاعل السريع التكاملى ( IFR ) ، الذى  
يستخدم الصوديوم السائل ، نجد أن الصوديوم السائل  
يعمل جيدا عند درجات حرارة تشغيل المفاعل ، التى  
تقل عن درجة غليان الصوديوم » .

« وهذا يعنى أنه يمكن تشغيل جزء المفاعل ، من  
النظام كله ، تحت ضغط جوى » .

## نواتج التآكل :

وبما أنه ليست هناك حاجة الى أوان سميكة  
الجدران ، لتتحمل الضغط العالى للماء المسخن الى درجة

حرارة عالية ، فان استخدام الصوديوم السائل ، يؤدي الى تصميم للمفاعلات ، أبسط وأصغر .

كما أن الصوديوم السائل ، أقل اتلافا لنظام المفاعلات ، من الماء ، ذلك أن الصوديوم السائل غير متلف للفلزات الأخرى ، الى درجة كبيرة ، وخاصة الصلب الذى لا يصدأ .

وعندما تصنع المفاعلات من هذا النوع من الصلب ، فانه فى حالة استخدام المساء فى التبريد ، وحيث أن الماء متلف للفلزات ، فانه كثيرا ما تتكون نواتج تآكل مشعة ، كانت فى داخل نظام المفاعل ، فى أول الأمر ، ثم حملها تيار الماء ، فيما بعد ، حول جميع أجزاء نظام المفاعل .

وتترسب نواتج التآكل المشعة ، فى أجزاء النظام ، مثل المضخات ، وغيرها .

وعلى ذلك ، فان عمال الصيانة ، يجب عليهم أن يعملوا ، فى كثير من الأحيان ، فى وجود مجالات اشعاعية عالية .

ولكن هذه المشكلة تختفى ، فى حالة استخدام الصوديوم السائل .

عامل أمان آخر :

والعيب الرئيسى لاستخدام الصوديوم السائل فى

عملية التبريد ، هو أن الصوديوم يتفاعل مع بخار الماء ، الذى يوجد فى الجو .

ولمنع تلوث المبرد بالماء ، يحفظ الصوديوم السائل ، تحت طبقة تغطية من غاز الأرجون ، وهو مادة خاملة ، لا تتفاعل .

ويلاحظ أن التبريد بالصوديوم السائل ، ليس هو الأمر الوحيد المقترح ، لرفع درجة الأمان . ذلك أن الوقود ، فى المفاعل السريع التكاملى ، له تركيب خاص .

وبخلاف وقود أكسيد اليورانيوم السيراميكى . الذى يستخدم فى المفاعلات التقليدية ، فإن المفاعل السريع التكاملى سوف يستخدم وقود فلزاليورانيوم .

وهذا أمر هام ، لأن الفلزات ، بخلاف المواد السيراميكية ، تتمدد عندما تسخن . وهذا يدفع الذرات بعيدا عن بعضها البعض .

حينئذ ، يكون على النيوترونات أن تسير مسافة أطول ، لتحفظ للتفاعل المتسلسل استمراره . فيبطيء تيار النيوترونات ، الذى يؤدى الى توليد الحرارة ، الى أن يتوقف فى النهاية ، بدون تدخل بشرى .

وهذا هو ما حدث أثناء الاختبار ، فى مفاعل ايداهو التجريبي .

## تفسير ما حدث :

ويصف ( تشارلز تيل ) ما حدث فى هذه التجربة المثيرة •

« مفاعل يعمل بكامل قوته ، ثم تعطل نظم الامان ، وتصدر الأوامر الى العاملين بألا يعملوا شيئاً • وتوقف جميع المضخات » •

« حينئذ نتوقع نتيجة مذهلة » •

« الا أن ما حدث ، هو أن درجة حرارة السائل المبرد ، الخارج من قلب المفاعل ، ارتفعت لفترة قصيرة ، وبعد دقائق قليلة ، عادت الى حالتها الطبيعية » •

« وانخفضت قوة المفاعل الى الصفر • ويصل المفاعل الى حالة الثبات ، خلال دقائق قليلة ، عند درجة الحرارة العادية ، وقوة الصفر » •

« ويبقى المفاعل كذلك ، وذلك بدون أى تدخل من العاملين هناك ، على الاطلاق » •

« وبمجرد أن ترتفع درجة حرارة السائل المبرد ، تنخفض درجة حرارة الوقود ، وتنخفض القوة بسرعة ، الى الصفر » •

« وهذه الخاصية لا يتميز بها الا الوقود الفلزي • والسبب فى هذا نعرفه من تجاربنا العادية : اذ أن

الفلزات توصل الحرارة جيدا ، فيما نجد أن المواد  
السيراميكية لا توصل الحرارة » .

« وهذا التوصيل الجيد للحرارة هو الذى يجعل  
القوة تنخفض بسرعة الى الصفر » .

### مشكلة رئيسية :

ومن المشاكل الرئيسية التى تتعلق بالقوى  
النووية ، مشكلة التعامل مع مخلفات المفاعلات النووية ،  
وكيفية التخلص منها .

وهذه المخلفات نواتج طبيعية لانشطار ذرات  
اليورانيوم ، وبعضها يبقى مشعاً ، الى درجة كبيرة ،  
لفترات طويلة للغاية .

مثال ذلك أن البلوتونيوم ٢٣٩ له فترة عمر  
نصف ، تبلغ أكثر من ٢٤ ألف عام ، وهذه هي الفترة  
التي يتحلل فيها نصف عدد الذرات المشعة ، فى عينة  
من هذه المادة ، الى نظائر ، أو عناصر أبسط .

ومعظم نواتج الانشطار الأخرى ، لها فترات عمر  
نصف ، أقصر كثيراً ، يصل بعضها الى أيام قليلة .

### المفاعل المولد :

ان المفاعل السريع التكاملى ، الذى يخططون له ،  
ومفاعل الأبحاث فى ايداهو ، هما من نوع المفاعل

المولد . أى أن هذين المفاعلين ينتجان البلوتونيوم بكميات كافية ، يمكن استخدامها كوقود نووى ، فى نفس النظام الذى تنتج فيه .

ويرى نقاد المفاعل المولد ، أن انتاج هذه المادة ، ذات الاشعاعية العالية ، كجزء من دورة الوقود فى المفاعل ، انما هو خطر كامن .

### المفاعل السريع التكاملى :

أما الدكتور ( تشارلز تيل ) ، الذى يعمل فى معمل أرجون القومى ، فانه ينظر الى الموضوع نظرة أخرى .

« فى تصميم مفاعل IFR الذى نعمل فيه الآن، نجد أنه ينتج البلوتونيوم ، الذى يستخدم كوقود نووى ، فى نفس المفاعل . وهو بذلك يمد المفاعل بامدادات من الوقود لا تنفذ » .

« واذا قارنا ذلك بالمفاعلات التجارية الموجودة حالياً ، مثل مفاعلات الماء ، نجد أن النظائر التى تنشط ، والتى توجد فى وقود هذه المفاعلات ، يبلغ مقدارها حوالى ثلاثة فى المائة » .

« وفى هذه المفاعلات ، نبدأ باليورانيوم ٢٣٥ كمادة قابلة للانشطار ، وليس بالبلوتونيوم » .

« ومع تقدم الاشعاع ، ومع عمل المفاعل لأيام

وسنوات ، يتكون البلوتونيوم بكميات كبيرة ( حوالى ٥٠٠ رطل فى العام ) ، ويحرق جزء من البلوتونيوم . ويبقى الباقي كمكون للمخلفات » .

« ويهدف تصميم المفاعل السريع التكاملى (IFR) الى انتاج البلوتونيوم ، واستخدامه ، كوقود نووى فى نفس المفاعل ، وفصل المكونات طويلة العمر من النواتج » .

### عشرون فى المائة :

ويقول الدكتور ( ريتشارد لستر ) ، الأستاذ فى معهد مساشوستس للتكنولوجيا ، أنه يوجد حالياً ، فى الولايات المتحدة ، مائة محطة قوى نووية ، تنتج حوالى ١٥ فى المائة من انتاج الكهرباء ، فى هذه البلاد .

وهناك حوالى ٢٠ أو ٣٠ محطة أخرى ، فى مراحل مختلفة من بنائها .

وعندما يتم بناء هذه المحطات ، فى حوالى عام ١٩٩١ ، فان الولايات المتحدة ، سوف تستمد عشرين فى المائة من انتاجها من الكهرباء ، من محطات قوى نووية .

الا أنه يلاحظ أنه لم تصدر أوامر بإنشاء محطات قوى نووية جديدة ، منذ عام ١٩٧٨ .



وهذا يعنى أنه ، بعد اتمام انشاء المحطات التى  
يجرى العمل حاليا فيها ، فانه لن تكون هناك محطات  
قوى نووية ، فى مرحلة الانشاء ، لفترة طويلة .

### انواع جديدة من المفاعلات النووية :

ويقول الدكتور ( تشارلز تيل ) ، الذى يعمل فى  
معمل أرجون القومى ، ان الحوادث التى حدثت فى  
تشيرنوبيل ، وفى ( ترى مايل ايلاند ) تشير الى الحاجة  
الى انشاء أنواع جديدة من المفاعلات .

ان القوى النووية ، ما هى الا ضحية لنجاحه ،  
لان ما حدث ، هو أن الجيل الأول من المفاعلات النووية ،  
قد استخدم على نطاق تجارى .

وهذه تكنولوجيا يمكن تحسينها وتطويرها ،  
لدرجة كبيرة ، تماما مثل تكنولوجيا محرك الاحتراق  
الداخلى ، وغيرها من التكنولوجيات .

ويسدو أننا لا ندرك هذا تماما . فانكثرون  
يربطون القوى النووية ، بالجيل الحالى من المفاعلات .  
اذ أنهم يظنون أنها تكنولوجيات استاتيكية . ولكننا  
ليست كذلك .

وليس هناك سبب ، على الاطلاق ، لتجميد القوى  
النووية فى صورتها الحالية . فهناك صور أخرى ،  
فى أسلوب الأمان الذى اتبعه مصممو هذه المحطة  
أفضل كثيرا ، ومن الممكن الوصول اليها .

## الايديروجين : وفود الغد

---

### وقود ممتاز :

يعرف الايديروجين ، منذ زمن طويل ، بأنه وقود ممتاز : ذلك أنه يمكن تخزينه بسهولة ، ونقله الى حيث يستهلك ، كمصدر للقوى فى المنازل ، وفى الطائرات. وفى غيرها من المركبات .

ان الغاز الطبيعى الذى كان يستخدم فى الولايات المتحدة ، فى أوائل القرن العشرين ، والذى كان يعرف باسم « غاز الفحم » ، لأنه كان يستخلص من الفحم ، كان نصفه من الايديروجين .

ويحتوى كل وزن من الأيديروجين ، على ضعف ما يحتويه نفس الوزن من وقود السيارات من الطاقة ، بدون أية ملوثات .

ويستخدم الأيديروجين ، فى يومنا هذا ، فى الحالة السائلة ، مع الأوكسجين ، كوقود لصواريخ الفضاء .  
وان السحب المشهورة التى نراها تغلف الصواريخ عند انطلاقها ، لا تسبب تلوث الهواء بالمعنى الذى

اصطلح عليه العلماء • ذلك أن هذه السحب ليست  
الا بخار ماء - وهى الناتج الوحيد الذى ينتج عن  
احتراق الايدروجين •

### اقترح مينل :

فى عام ١٩٧٠ ، تمكن عالمان من جامعة أريزونا ،  
من جذب الانتباه ، عندما قدما اقتراحا طموحا ، يهدف  
الى تحويل أكثر من خمسة آلاف ميل مربع من الصحراء  
الجنوبية الغربية ، فى الولايات المتحدة ، الى ما أطلقا  
عليه اسم « مزرعة القوى الشمسية الوطنية » ، تلك  
المزرعة التى ينتظر أن يكون فى امكانها مد الولايات  
المتحدة باحتياجاتها من الكهرباء ، فى القرن الحادى  
والعشرين •

هذان العالمان هما الدكتور ( أدن مينل ) ، مدير  
مركز العلوم البصرية فى جامعة أريزونا ، وزوجته ،  
التي تعمل فلكية فى نفس الجامعة •

لقد كرس هذان العالمان جهودهما ، طوال عدة  
سنوات ، لدراسة إمكانية استخدام الطاقة الشمسية ،  
لتوليد القوة ، على نطاق كبير •

### مزرعة القوى الشمسية :

ولقد لخص هذان العالمان ، النتائج التى توصلا

اليها ، وخطتهما لتوليد القوة ، في كتابهما « القوة للنامن » .

أن مشروع « مزرعة القوى الشمسية الوطنية » ، الذى اقترحه هذان العالمان ، يعتمد على مبدأ تركيز الطاقة الشمسية ، باستخدام المرايا ، لتسخين مائع ، يوصل الحرارة اللازمة لتوليد البخار ، اللازم لتشغيل مولد كهربى ، من النوع التقليدى ، ذى التربين .

وباستثناء استخدام هذه المحطة للطاقة الشمسية ، كمصدر للحرارة ، فإن محطة القوى هذه لا تختلف عن محطات القوى التقليدية ، التى تعمل بالوقود الحفرى .

### تحليل الماء الى عنصريه :

لقد رفض هذان العالمان فكرة انتاج الأيدروجين ، كوسيلة ل تخزين الوقود ، فى محطاتهم الشمسية المقترحة ، وذلك لأن هذا يحتاج الى مرحلتين لتحويل الطاقة :

تتلخص المرحلة الأولى فى انتاج القوى الكهربائية ، فى المحطة الشمسية ، بكفاءة تبلغ حوالى ثلاثين فى المائة .

وفى المرحلة الثانية ، تستخدم هذه الكهرباء فى تحليل الماء الى عنصرية : الأيدروجين والأكسجين .

وهناك أجهزة متوافرة ، على نطاق تجارى ،

تستخدم الكهرباء لتحليل الماء الى أيدروجين وأوكسجين ،  
بكفاءة تصل الى سبعين فى المائة .

ثم يطلق الأوكسجين فى الهواء ، ويخزن  
الأيدروجين ، ليستخدم فى وقت لاحق ، كوقود مباشر .

ويرى هذان العالمان أن إعادة تحويل وقود كيميائى  
( الأيدروجين ) عن طريق احراقه ، ليس أمرا جذابا ،  
لأنه يتضمن خفضا فى الكفاءة الديناميكية الحرارية ،  
ويقلل الكفاءة الكلية ، بمقدار ستين فى المائة .

ولو أنه كانت هناك خلايا وقود ، رخيصة الثمن ،  
وطويلة العمر ، تقوم بأكسدة الأيدروجين ، وإنتاج  
الأيدروجين ، وإنتاج الكهرباء ، لأمكن تقليل تأثير هذه  
المشكلة الى حد كبير .

ولكن خلايا الوقود هذه لم تتوافر بعد .

### مشروع هليوس - بوسيدون :

الا أن عددا من العلماء الأمريكيين ، قد اقترحوا  
أفكارا لاستخدام الطاقة الشمسية ، بعد تركيزها ، عن  
طريق استخدام مجمعات شمسية ، لإنتاج الحرارة  
والكهرباء ، ليستخدمها بدورها فى إنتاج الأيدروجين .

ذلك أن مهندسا استشاريا من ميتشجان ، هو  
المهندس ( وليام آش ) اقترح خطة طموحة ، لعمل شبكة  
واسعة من المجمعات الشمسية ، المجهزة بمرايا ، لتركيز

الأشعة ، لانتاج البخار اللازم لتوليد الكهرباء ، ثم انتاج وقود الأيدروجين ، عن طريق تحليل الماء كهربيا ، على أن يجهز المصنع بوحدة لتقطير المياه ، باستخدام الطاقة الشمسية ، لانتاج الماء المقطر ، اللازم لتغذية وحدات تحليل المياه .

لقد أطلق على محطة ( اشر ) للقوى الشمسية والأيدروجين ، اسم ( هليوس - بوسيدون ) ، الهى الشمس والبحر ، عند القدماء ، واقترح بناؤها على قواعد عائمة ، فى المحيط الهادى .

تطفو على سطح الماء :

ان هذه الفكرة التى أزاح الستار عنها الدكتور ( اشر ) ، فى اجتماع للجمعية الكيميائية الأمريكية ، عقد فى عام ١٩٧٢ ، تتضمن استخدام مجمعات شمسية ذات مرايا ، تشبه تلك التى بناها رائد الطاقة الشمسية ، الدكتور ( تشارلز أبوت ) ، فى الثلاثينات ، وتلك التى شيدها الدكتور ( هارى تابور ) فى الخمسينات .

ومن المقترح أن تشغل محطة ( هليوس - بوسيدون ) مساحة مربعة من المحيط ، يبلغ طول ضلعها حوالى ٣ر٤ ميلا .

تطفو على سطح الماء ثمان وأربعون وحدة ، تحتوى كل منها على مجمعات شمسية ، وأجهزة لتحليل

لماء كهربيا، وخزانات تحت الماء ، لتخزين وقود  
لأيدروجين .

وتتصل خزانات الأيدروجين ببعضها البعض ، عن  
طريق أنابيب ، لتغذية محطة الضخ الرئيسية . وهناك  
يبرد الأيدروجين الغازي الى درجة حرارة منخفضة  
للفاية ( - ٤٢٣ درجة فهرنهايت ) ، يتحول عندها  
الأيدروجين الى سائل ، تنقله الناقلات الى البلاد التي  
تطلب شراءه .

### دراسات الجدوى للمشروع :

ويعتقد المهندس ( اشر ) . أن اقتصاديات وقود  
الأيدروجين ، في الولايات المتحدة على الأقل ، سوف  
تتبع اقتصاديات الغاز الطبيعي الحالية ، التي تواجه  
الفناء ، ما لم يمكن تنمية مصادر - جديدة لهذا الغاز .

وهو يرى أن تكنولوجيا نقل الغاز المسال ، عند  
درجة حرارة - ٢٦٠ درجة فهرنهايت ، عبر المحيطات ،  
في ناقلات خاصة ، قد أكدت الجدوى التكنولوجية لهذا  
النظام المقترح .

ذلك أن كل ما يلزم لنقل الأيدروجين السائل  
المبرد ، انما هو تعديل للتكنولوجيا المستخدمة حاليا .

### تكاليف كبيرة :

ان مشروع ( هليوس - بوسيدون ) يتكلف حوالى

١٥٠ بليون دولار ، وينتج ٦٧٠ طنا من الأيدروجين المسال ، و ٥٢٦٠ طنا من الأوكسجين المسال ، كل يوم .  
وانتاج القوى لهذا النظام ، يعادل انتاج محطة للقوى ، قدرتها مليون كيلوات .

ويلاحظ المهندس ( أشر ) في مشروعه الابتدائي ،  
الذي قدمه في عام ١٩٧٢ ، أن تكاليف هذا المشروع ،  
يمكن مقارنتها بتكاليف مشروع ( مينل ) .

وبالرغم من انعدام تكاليف الوقود والأرض ، في  
مشروع ( هليوس - بوسيدون ) ، فإن هذا يمكن  
ترجمته الى تكاليف طاقة ، تبلغ خمسة أضعاف التكاليف  
التقليدية .

### عائد مجز :

وعند تقييم هذا النظام ، فإنه يجب أن نأخذ في  
الاعتبار ، عددا من تكاليف الطاقة . ذلك أنه من المنتظر  
أن يكون هناك فاقد في الطاقة ، في المراحل المختلفة :

عند تجميع الطاقة الشمسية ، بواسطة المرايا  
البارابولية ، وعند تحويل الطاقة الشمسية الى بخار ،  
في المراحل ، وفي عملية التحليل الكهربائي للماء ، وفي  
عملية تحويل الوقود ( الأيدروجين ) ، ونقله عند درجة  
حرارة منخفضة .

وبالرغم من هذا للفاقد ، والانخفاض الناتج عنه



فى الكفاءة الكلية للمصنع ، فان المهندس ( اشر ) يرى  
ان هذا المصنع الذى يتكلف ١٥ رايونا من الدولارات ،  
سوف ينتج ما تقدر قيمته باثنين وستين مليوناً من  
الدولارات ، فى كل عام ، من وقود الأيدروجين ،  
الأمر الذى يبرر تكاليف المشروع .

### مشروع جامعة هيوستن :

وهناك مشروع آخر ، وضعه عدد من الفيزيائيين ،  
والمعماريين ، والمهندسين ، العاملين فى جامعة هيوستن .

ويهدف هذا المشروع الى تطبيق فكرة المركبات  
الشمسية ، على نظم تخزين طاقة الأيدروجين .

وتتلخص فكرة المشروع فى اقامة صفوف من  
العدسات ، أو المرايا ، التى تجمع أشعة الشمس ،  
تحيط بمرجل هائل ، موضوع فوق برج يبلغ ارتفاعه  
ألفاً وخمسمائة قدم ( أعلى من أعلى ناطحة سحاب فى  
الولايات المتحدة ، بما فى ذلك برج ( سيرز ) فى  
شيكاغو ، الذى يبلغ ارتفاعه ١٤٥٤ قدماً ) .

هذا المرجل يمكن أن يكون جزءاً من نظام تقليدى ،  
مكون من ترين بخارى ، ومولد ، أو قد يكون جزءاً من  
نظام مولد ايرو ديناميكى مغناطيسى متقدم .

تسخن أشعة الشمس هذا المرجل ، فيتولد البخار  
الذى يمدنا بالحرارة اللازمة لتوليد الكهرباء ، التى

تستخدم في أجهزة التحليل الكهربى ، لتوليد  
الأيديروجين .

### تقليل فاقد الطاقة :

ومن أكبر مؤيدى هذا المشروع ، قسم الفيزياء فى  
جامعة هيوستن ، وهناك عالمان كبيران ، هما الدكتور  
( هيلدبرانت ) ، رئيس قسم الفيزياء فى جامعة  
هيوستن ، والدكتور ( هاس ) ، وهو فيزيائى له خبرة  
كبيرة فى برنامج الطاقة الانتاجية ، التابع لادارة  
الطاقة الذرية الأمريكية ، والذي يهتم بتطوير  
الايديروديناميكا المغناطيسية ، لاستخدامها فى هذا  
المشروع الشمسى .

وفى الملخص الذى أعده هذان العالمان لهذا  
المشروع، نجدهما يلاحظان أن مفتاح التطوير الناجح،  
لأى مشروع كبير ، لتحويل الطاقة الشمسية ، هو تقليل  
الفاقد من الطاقة ، فى جميع المراحل ، الى أدنى حد  
ممكن .

### كفاءة عالية :

ان الايديروديناميكا المغناطيسية ماهى الا تكنولوجيا  
متقدمة ، تولد الكهرباء بطريقة مباشرة ، عن طريق  
امرار الغاز المتأينة ، فى مجال مغناطيسى .

وكفاءة هذه الطريقة تفوق كفاءة الطرق التقليدية  
لتوليد الكهرباء ، عن طريق التربين البخارى .  
ويلاحظ أن الايدرووديناميكا المغناطيسية يمكنها  
أن تستخلص خمسين فى المائة ، أو أكثر ، من القهوة  
الكهربية ، من الفاز المسخن عن طريق الرجل  
الشمسى .

بينما نجد أن أفضل محطات القوى الكهربائية  
التقليدية ، لا تحول الا أربعين فى المائة ، على الأكثر ،  
من محتوى الطاقة فى الوقود ، الى كهرباء .  
يضاف الى ذلك أن المولد الايدرووديناميكى ليس به  
أجزاء متحركة ، ويمكن تصغيره الى حجم يقل عن حجم  
نظام التربين البخارى التقليدى .

ولما كانت معدات توليد الكهرباء ، ومعدات تحليل  
الماء الى عنصريه : الأوكسجين والأيدروجين ، يجب أن  
توضع على قمة برج يبلغ ارتفاعه ١٥٠٠ قدم ، فإن  
وزن المعدات ، وحجمها ، لهما أولويات هامة .

### ثلاثون فى المائة :

وبالإضافة الى هذا البرج الضخم ، فإن هذا المشروع  
يحتاج الى مساحة كبيرة من الأرض ، كما تحتاج المحطة  
الواحدة الى مائتين وخمسين ألف مرآة وعدسة ، تغطى  
مساحة مقدارها ميل مربع .

ويتراوح انتاج المحطة من الكهرباء بين أربعين ألف كيلووات في فصل الشتاء ، وثمانين ألف كيلووات في فصل الصيف ، عندما تسطع الشمس وقتا أطول ، كل يوم .

ويعتقد الدكتور ( هيلدبراندت ) والدكتور ( هاس ) أن الكفاءة الكلية لهذه المحطة ، في تحويل حرارة الشمس الى كهرباء ، تبلغ حوالي ثلاثين في المائة ، مع حساب فاقد الحرارة في المجمعات الشمسية ، والمرجل ، والنظام الأيدرو ديناميكي المغناطيسي .

هذا ، بينما تبلغ الكفاءة الكلية ، للنظام الكهربى الشمسى ، الذى يولد الأيدروجين ويخزنه ، أقل من عشرين فى المائة .

#### تكاليف المحطة :

لقد استوحى هذا المشروع بعض الأفكار من الفرن الشمسى الذى شيدته الدكتور ( فيليكس ترومب ) ، فى جبال البرانس الفرنسية ، فى الخمسينات والستينات .

وقد صرح الدكتور ( هاس ) بأن هذا المشروع الجديد ، يفرض امكانية بناء نظام المرايا ، بتكاليف تبلغ عشر التكاليف التى تكلفها نظام الدكتور ( ترومب ) ، وهى دولاران للقدم المربع . وهذا يعنى ٢.٥ مليوناً مع الدولارات ، لهذا النظام ، الذى يبلغ قطره ميلاً .

أما التكاليف الأخرى فتشمل ١٥ مليوناً من الدولارات للبرج ، وأربعين مليون دولار لاستهلاك المعدات ، توزع على ثلاثين عاماً .  
وبهذا تتكلف المحطة ثمانين مليون دولار .

ويلاحظ أن هذا لا يشمل المولد الأيدرو ديناميكي المغناطيسي ، ونظام توليد الأيدروجين بالتحليل الكهربائي ، ثم تخزينه .

### طاقة منافسة :

ويمتقد الدكتور ( هاس ) أن تكاليف القوى المولدة عن طريق هذا النظام ، محسوبة على أساس متوسط جميع تكاليف معدات المحطة ، وبفرض أن عمر المحطة ثلاثون عاماً ، هي حوالي ٦ ميل (MILS) لكل كيلو وات ساعة من الكهرباء .

الا أنه اذا استخدمت الكهرباء لانتاج الأيدروجين ، فإنه يجب اضافة تكلفة اضافية ، تضاعف قيمة التكاليف .

ويبدو أن اقتصاديات هذا النظام للفرن الشمسي غير العادي ، تتناسب مع التقديرات الاقتصادية لغيرها من المحطات الحرارية الشمسية ، ومحطات القوى الكهربائية الشمسية .

ومن هذا الملخص للتكاليف ، يستخلص الدكتور

( هاس ) ، والدكتور ( هيلديراندت ) أن الطاقة الشمسية سوف تصبح منافسة لتكاليف إنتاج الطاقة التقليدية ، في المستقبل القريب .

وذلك لأن التكنولوجيا اللازمة ، مفهومة الى حد كبير ، وكاف ، بحيث تسمح بتطوير تحويل الطاقة الشمسية ، على نطاق كبير .

### مشروع ثالث :

أما العالم الفيزيائي ( نورمان فورد ) ، والعالم الفيزيائي ( جوزيف كين ) ، اللذان يعملان في جامعة مساشوستس ، فانهما قد اقترحا فكرة لها علاقة بهذا المشروع الثاني ، ولكنها تختلف عنه . وكان ذلك في عام ١٩٧١ .

ويهدف هذا المشروع الى استخدام مرايا ، وعدسات شمسية ، لتركيز أشعة الشمس على مرجل ، للوصول الى درجات حرارة عالية ، بما يكفي لتحويل الماء حراريا ، الى أيديروجين وأوكسجين ، ثم يطلق الأوكسجين في الهواء ، ويخزن الأيديروجين كوقود .

وللوصول الى درجات الحرارة اللازمة ، اقترح هذان العالمان اقامة مجموعات كبيرة من عدسات فريزتل الرخيصة الثمن ، المصنوعة من اللدائن .

ولتشغيل محطة للقوى تنتج مليون كيلووات من الكهرباء ، في أثناء ساعات سطوع الشمس ، وجد أنه

يلزم استخدام عدسات فريزنل ، تبلغ مساحتها ميلين مربعين ، مرتبة على المحور الممتد من الشرق الى الغرب ، الذى هو عامل مشترك فى محطات القوى الشمسية .

وفوق برج فى مركز هذه المجموعة ، يوضع الرجل عند بؤرة العدسات ، لينتج درجة حرارة مرتفعة ( تبلغ ١٥٠٠ درجة مئوية ) .

وعند درجة الحرارة هذه ، يتحلل بعض بخار الماء تحللا حراريا .

وعند مرحلة الاتزان ، يتحلل حوالى ٠.٧ ر. فى المائة ، من البخار ، الى أيدروجين وأوكسجين .

### اقتصاديات المشروع :

وقد اقترح هذان العالمان ، أن تكون محطة القوى المقترحة ، عاملا هاما فى انتاج أيدروجين رخيص ، يمكن تسويقه ، حتى يصبح الأيدروجين وقودا رئيسيا ، فى الولايات المتحدة .

ويرتكز المشروع على أساس من تقديرات لتكاليف محطة القوى ، التى قدرها بثلثة وثلثين دولارا لكل متر مربع ، ( يذهب جزء كبير منه الى الرجل والعدسات ، ويقدر بمشرة دولارات لكل منهما ) .

واذا بيع الأيدروجين بنفس أثمان وقود السيارات - أى أن محتوى طاقة مكافئ ، يباع بسعر مكافئ -

فلن وقود الأيدروجين الذى يجمع فى هذه المحطة ،  
يساوى عشرة دولارات فى العام ، لكل متر مربع من  
مساحة المحطة .

وبفرض عائد على الاستثمارات يقدر بعشرة  
فى المائة فى العام ، فان هذا يعنى أنه من المعقول  
اتفاق مبلغ يتراوح بين ثلاثين ، وتسعين دولارا ، لكل  
متر مربع .

وهذا يمكن مقارنته بالتقديرات السابقة .  
الا وهى ٣٣ دولارا لكل متر مربع .

### تقديرات التكاليف :

ان احدى المعضلات الرئيسية التى تواجه القائمين  
على اقامة محطة قوى شمسية كبيرة ، لتوليد الكهرباء ،  
اولا لتاج الأيدروجين ، انما هى رأس المال الهائل ،  
اللازم لذلك .

ذلك أن التكاليف المبدئية ، تعادل تلك التى تلزم  
لشراء محطة قوى تقليدية ، تعمل بالوقود الحفرى ،  
أو محطة قوى نووية ، واحتياجات تلك المحطة من  
الوقود ، طوال عمر تشغيلها .

وهناك دراسة أعدتها شركة ايروسبيس  
Aerospace Corporation عن محطات القوى الحرارية  
تشير الى أن تضاعفا بنسبة ثمانية فى المائة فى العام ،



سوف يزداد كثيرا من تكاليف مشروع شمسي ، ذي رام مال كبير .

لقد حسب القائمون بهذه الدراسة جميع التكاليف المعروفة ، اعتمادا على الاقتصاديات والتكنولوجيا الحالية ، لبناء محطة القوى هذه . ووصلوا الى أن الكهرباء الشمسية ، سوف تكلف ٨ر٤ سنت ، لكل كيلو وات - ساعة ، وذلك في عام ١٩٩١ .

### كهرباء أكثر أمانا :

ان جهود البحث والتطوير المتزايدة ، من جانب الحكومات والشركات الصناعية ، يجب أن تخصص لموضوع الطاقة الحرارية الشمسية ، التي تمهد السبيل الى كهرباء أكثر وفرة ، وكهرباء أكثر أمانا ، من تلك التي نحصل عليها من المصادر التقليدية .

وجدير بالذكر أنه في عام ١٩٧٣ ، اقترحت لجنة من هيئة بحوث الفضاء الأمريكية ، ومن مؤسسة العلوم القومية الأمريكية ، انفاق ١١٣ بليون دولار ، لتطوير وبناء محطات قوى حرارية شمسية ، على سطح الأرض .

ولم يكن هذا الا كسرا من الميزانية التي اقترحتها هيئة الطاقة الذرية الأمريكية ، لعدة أنواع من محطات القوى النووية .

• ويلاحظ أن هذه الميزانية الكبيرة لا تشمل بلايين الدولارات ، التي أدت الى ميلاد هذه التكنولوجيا المهمة .

• وقد نجاء في مقال نشرته مجلة العلم الأمريكية ، أن تقديرات شركة ايروسبيس ، لتكاليف محطات القوى الخارازية الشمسية ، قد جعلت تكاليف الكهرباء الشمسية ، في عام ١٩٩١ ، أقرب الى المنافسة الاقتصادية ، مع الكهرباء النووية .

ويلاحظ أن تقديرات التكاليف هذه ، لا تدخل في الاعتبار ، انخفاض التكاليف الناتج عن انتاج المكونات الشمسية ، على نطاق كبير ، ولا التكاليف البيئية ( التي تكاد تساوي صفرا ) لمحطات القوى الشمسية .

## الايديروجين : وقود المستقبل

---

### تحليل الماء الى عنصريه :

ان البحث عن مصادر بديلة للطاقة ليس أمرا جديدا . فمنذ مائة عام ، ظهرت قصة « الجزيرة الفامضة » ، من تأليف ( جولز فيرن ) ، الذى كتب عن الفحم : « لولا الفحم ما كانت هناك آلات . ولولا الآلات ، ما كانت هناك سكك حديدية ، ولا سفن بخارية ، ولا صناعات ، ولا تلك الأشياء ، التى لا غنى عنها للحضارة الحديثة » -

لقد وجد ( فيرن ) الحل فى الماء ليس الماء القراح ، ولكنه يحلل الى عنصريه الأولين . . . . يحلل بالكهرباء بدون شك . . . سوف يستخدم الماء فى يوم من الايام كوقود » .

« ان الأيديروجين والأكسجين ، اللذين يكونان ، الماء ، سوف يمدان البشر بمصدر لا ينفد من الحرارة والضوء القويين ، يفوقان فى قوتهما ما يمكن أن يقدمه لنا الفحم » .

كذلك نجد أن ( جون وودكامبل ) ، محرر مجلة القصص العلمي المثير ، منذ عام ١٦٣٨ الى عام ١٦٧١ . نشر في عام ١٩٥٠ قصة عنوانها « القمر جحيم » . ناقش فيها ، ببعض التفصيل ، استخدام الأيدروجين كوقود .

لقد كان ( كامبل ) يفكر في استخراج الأيدروجين والأكسجين من الماء ، عن طريق تحليله كهربيا ، وذلك باستخدام الطاقة التي تجمعها الخلايا الكهربائية الضوئية .

لقد كانت الدورة تتلخص في حرق الأيدروجين في الأكسجين ، ليلا ، للتدفئة بالحرارة الناتجة ، ثم جمع الماء المتكون ، لتحليله كهربيا ، مرة ثانية ، في اليوم التالي .

### وقود مثالي :

ومن عدة نواح ، نجد أن الأيدروجين وقود مثالي -  
الا أنه ليس وقودا طبيعيا أو واضحا .

ويمكن انتاج الأيدروجين ، بكميات كبيرة ، من الفحم أو الزيت ، أو من الطاقة الكهربائية ، أو من الغاز الطبيعي .

والأهم من ذلك ، أنه يمكن انتاجه عن طريق تحليل الماء ، باستخدام الطاقة الكهربائية ، وهذه الطاقة

قد تأتي من مفاعل نووى ، أو من خلية كهربية ضوئية ،  
أو من طريق آخر .

ولعل أكبر ميزة لوقود الأيدروجين تتركز فى تأثيره على البيئة : عندما يحترق الايدروجين ، فإن ناتج الاحتراق الوحيد هو الماء . ولا تكون ملوثات ، مثل أول أكسيد الكربون ، أو ثانى أكسيد الكربون ، أو ثانى أكسيد الكبريت ، أو الايدروكربونات ، أو الأجسام الصغيرة ، أو المؤكسدات الكيميائية الضوئية ، وغيرها . تلك الملوثات التى تنتج عند حرق الوقود الحفري التقليدى .

الا أن كمية صغيرة من أكسيد النيتريك ، تتكون ، وذلك بسبب الهواء الذى يدخل الى شعله الأيدروجين ، ولكن ذلك يمكن التحكم فيه ، اليوم ، باستخدام التكنولوجيا الحديثة .

### اقتصاد طاقة من نوع جديد :

وإذا تساءل البعض عن امكانية استخدام هذا الوقود ، على المدى الطويل ، فإننا نطمئنهم بأننا نتحدث عن مواد تتوفر بكميات غير محدودة ، ألا وهى الماء والهواء .

لقد حققنا ، فى الواقع ، حلم الكيميائيين القدماء ، حين صنعنا شيئاً من الهواء والنار والماء ، والنار ، فى حالتنا هذه ، هى ضوء الشمس .

ويحق لنا أن نتوقع أن نرى ، فى المستقبل ،  
اقتصاد طاقة من نوع جديد : فيه يصنع الأيدروجين  
من الماء والطاقة الكهربائية ، ثم يخزن الأيدروجين الى  
حين الحاجة اليه .

ثم يحرق الأيدروجين ، كوقود ، لينتج الكهرباء ،  
والحرارة ، والطاقة الميكانيكية .

والأيدروجين أحد العناصر التى تدخل فى صناعة  
الأسمدة ، وكيماويات أخرى عديدة - وعلى ذلك ،  
فانه يبدو لنا وقودا مثاليا .

ويستخدم الأيدروجين ، اليوم ، كمصدر للطاقة ،  
بطرق متعددة .

واذا تساءل البعض عن السبب فى عدم استعماله  
على نطاق واسع ، جاء الرد على صورة مزيج مألوف ،  
من الاقتصاديات ، والتكنولوجيا ، والأمان .

### كارثة منطاد :

لابد أنك قد سمعت عن كارثة الهنديبورج ، وهو  
منطاد يستمد القوة التى ترفعه فى الهواء ، من غاز  
الأيدروجين .

ولكن الأيدروجين قابل للاشتعال ، بدليل أنه  
يستخدم كوقود .

وقد حدث أنه بينما كان منطاد الهندنبورج يهبط فوق ( ليك هيرست ) فى ولاية نيسوجرسى ، فى عام ١٩٣٧ ، أن انفجر الأيدروجين • وكان من نتيجة ذلك أن مات ثلث الركاب ، وكان عددهم يبلغ قرابة المائة •  
الا أن الأسوأ من ذلك ، والأكثر مدعاة للرعب ، هو أن الهندنبورج لم يكن الا واحدا من ثلاثة وسبعين منطادا انفجرت او احترقت •

### أكثر أمانا :

الا أن الأيدروجين أكثر أمانا من أنواع الوقود المألوفة لدينا •

ولما كان الأيدروجين خفيفا ، فإن ما يتسرب منه ، يتصاعد بسرعة فى الهواء • فينحصر بذلك خطر الانفجارات فى الفراغ الذى يملو مباشرة نقطة التسرب •

يقارن ذلك بوقود السيارات المسكوب ، الذى ينتشر على الأرض ، فيهدد بالخطر مرتفع ، وبالرغم من أن الطاقة التى تستخدم لاسالته ، تبلغ حوالى ثلث ما يحتويه الأيدروجين من الطاقة ، وبالرغم من المشاكل الرئيسية التى تتعلق بتخزين الوقود •

ففى الطائرة ، تبدأ عملية حرق الوقود بعد شحن الطائرة مباشرة • كما أن الكثير من الوقود يستخدم

أثناء الطيران ، كما أن الطائرة تكون قريبة من مخازن  
التموين بالوقود ، كلما هبطت على الأرض .

ونتيجة لذلك ، فإن الأيدروجين ( أو أى وقود  
آخر ) ، لن يخزن فى خزانات الطائرة فترة طويلة ،  
بحيث لن تحتاج هذه الخزانات الى مواصفات خاصة  
دقيقة ، كما قد يتبادر الى الذهن .

### سيارة وقودها الأيدروجين :

وحتى بالنسبة للسيارات ، فقد أمكن تعديل  
السيارة ، بحيث تعمل بالجازولين ، أو الأيدروجين  
المسال .

لقد قامت منظمة ألمانية لأبحاث الفضاء ، بالاشتراك  
مع جامعة شتوتجارت ، ومعامل لوس ألاموس العلمية ،  
ببيان أنه من الممكن تطوير خزان وقود مناسب لهذا  
الغرض ، ومعدات للملئه بالوقود .

وقد عرضت السيارات الأولى من هذا النوع فى  
معرض هانوفر .

وبينما نجد أن هذه السيارات لا تمتاز بأية  
مميزات ، فإنها تبين أن ما للأيدروجين من نسبة طاقة  
الى وزن ، مرتفعة ، يمكن أن يعادل ما لهذه السيارات  
من عيوب كثيرة .



## أوتوبيس يعمل بالأيديروجين :

ويقوم ( روجر بللينجز ) بتطوير تطبيقات أخرى ،  
فى شركة ( بللينجز ) للطاقة ، فى مدينة بروفو ، فى  
ولاية يوتاه الأمريكية .

لقد كان ( بللينجز ) يقوم ببناء مركبات تعمل  
بوقود الأيديروجين ، منذ كان فى المدرسة الثانوية .

وتشمل أحدث المحاولات التى تقوم بها هذه  
الشركة ، عشرة أوتوبيسات دودج معدلة ، تحرق  
الأيديروجين عند السرعات المنخفضة ، والجازولين عند  
السرعات المرتفعة .

ويعتقد ( بللينجز ) أن السيارات التى من هذا  
النوع ، يمكن أن توفر الملايين من براميل الزيت ،  
كل يوم .

ان مركبات ( بللينجز ) التى لا تعمل بالأيديروجين  
السائل ، ولكن الأيديروجين الغازى ، الذى ينطلق من  
مركبات كيميائية ، تسمى بالأيديديات ، قد أصبحت  
جزءا من نظام الأوتوبيسات ، فى مدينة بروفو .

## التسخين بالأيديروجين :

لقد بنى ( بللينجز ) بيتا يتكون من ٢٥ غرفة ،  
فيه يحرق الأيديروجين فى أجهزة التسخين ، وفى

الأفران ، وفى أجهزة التدفئة • نسبة أكبر من المنطقة التى تحيط بالمكان الذى انسكب فيه •

أضف الى ذلك أن الاحتراق غير الكامل ، لأنواع الوقود الحفري ، يؤدى الى تولد غازات سامة •

يقارن هذا بما يحدث عندما يحترق الأيدروجين •  
فالماء الذى يتكون غير ضار ، كما أن الأيدروجين نفسه غير سام •

وكلنا نذكر غاز الاستصباح الذى كان يصنع من الفحم ، ويستخدم فى المنازل ، قبل أن ينتشر استخدام الكهرباء • لقد كان هذا الغاز نصفه من الأيدروجين •  
وقد تعلم الناس كيف يتعايشون مع أخطار الحريق ، وانفجار الأيدروجين •

أضف الى ذلك أن الأمان عملية تعليمية ، تنمو مع كل تكنولوجيا جديدة •

لقد صمم العلماء المعدات ، وطوروا الطرق التى تمكننا من ملء خزان السيارة بالوقود ، ثم حمل قنبلة النار هذه ، بسرعة كبيرة ، فى الطرق المزدحمة •

وإذا كان الحال كذلك ، فانه سوف يكون فى الامكان تصميم طرق آمنة ، للتعامل مع الأيدروجين •

**طاقة ضئيلة تكفى :**

ولعل أخطر خواص الأيدروجين ، هى تلك الكمية

الضئيلة من الطاقة ، التي تلزم لاشعاعه ، ذلك أن  
الأيديروجين يحتاج الى عشر الطاقة التي تلزم لاشعاع  
مزيج من وقود السيارات والهواء ، أو الميثان والهواء .

ويقتررب مستوى الطاقة هذا من مستوى طاقة  
الشرارات الكهربائية الاستاتيكية ، التي هي سبب محتمل  
لكارثة الهندنبورج ، التي حدثت بعد جو عاصف .

كما أن كميات ضخمة من الأيديروجين ، تستخدم  
اليوم فى الصناعة ، بأمان تام ، ويبدون حوادث .

**وقود لكل الأغراض :**

واليوم نجد أمام الأيديروجين فرصة لاستخدامه  
وقودا لكل الأغراض .

وحتى هذه اللحظة ، نجده قد استخدم فى مشروع  
أبوللو ، لانزال آدميين على سطح القمر ، وفى اطلاق  
مكوك الفضاء .

أما على الأرض ، فإن استخداماته قد نشهدها فى  
المستقبل القريب .

ان شركة لوكهيد تخطط لتحويل أسطول من  
نفاثاتها من طراز ترائى - ستارل - ١١١ ، لتستخدم  
وقود الأيديروجين السائل .

ويعتقد مهندسو الطائرات أن الأيديروجين السائل  
وقود مثالى ، بالرغم من أنه يجب أن يخزن عند درجة

اسالته - ( ٢٥٣ درجة مئوية ) ، أو تحتها ، أو تحت ضغط -

وكان على بللينجز وزوجته أن يتعلما الطبخ ، من البداية ، مرة أخرى - ذلك لأن شعلات الأيدروجين تحترق عند درجات حرارة تختلف عن شعلات الغاز الطبيعي ، يضاف الى ذلك أن الجو في أفران الأيدروجين أكثر رطوبة -

وبتوجيهات من ( بللينجز ) ، سوف يجرى عرض دراسي لامكانات النظم التي تعمل بطاقة الأيدروجين ، وذلك في مدينة فورست ، بولاية أيوا -

هذه المدينة الصغيرة التي يبلغ عدد سكانها ٤٠٠٠ نسمة ، كان من المخطط لها أن تتحول الى طاقة الأيدروجين - وسوف ينقل اليها الفحم من مدينة تبعد حوالي ١٥٠ كيلومترا ، ليستخدم في صناعة الأيدروجين -

وقد أجريت أبحاث كافية ، لبيان أن المساكن الخاصة ، والمصانع ، يمكن أن يستخدم للتسخين فيها غاز الأيدروجين ، الذي ينقل في شبكة الأنابيب المستخدمة حاليا في نقل الغاز الطبيعي -

وهذا يسمح باستخدام شبكة خطوط الغاز الممتدة تحت الأرض ، كما هي ، بدون تعديل -

## توليد الأيدروجين :

ولكن من أين يأتي الأيدروجين ؟

ينتج الأيدروجين حاليا ، بكميات كبيرة من الغاز الطبيعي ، وخاصة من غاز الميثان ، الذي هو احد مكونات الغاز الطبيعي .

يتكون جزئ الميثان من ذرة كربون ، مرتبطة بأربع ذرات ايدروجين ، يتم فصلها عن طريق عملية كيميائية .

كما يمكن انتاج الأيدروجين ، عن طريق تفاعل الفحم مع الماء ، أو بالتحليل الكهربى للماء .

وإذا أمكن توليد الكهرباء ، كان من السهل انتاج الأيدروجين ، بالتحليل الكهربى للماء .

وليس من الصعب تصور استخدام الأيدروجين ، فى تلك المناطق من العالم ، التى تتوفر فيها الكهرباء ، المولدة من مساقط المياه ، مثل كندا .

ان جانبا كبيرا من مساقط المياه ، هناك ، لم تستغل بعد ، لأنها تقع فى أماكن بعيدة ، بحيث يصبح نقل الكهرباء من هناك ، الى المناطق الآهلة بالسكان ، أمرا مكلفا ، ومنخفض الكفاءة .

ولكن ، لو أن الأيدروجين ، كان مصدرا لطاقة يمكن استخدامها ، لأمكن تطوير موقع توليد الطاقة

الكهربية المائية ، لانتاج كميات كبيرة من الأيدروجين .  
يمكن توصيلها عن طريق الانابيب ، الى حيث يحتاج  
اليها الناس .

### طرق حديثة :

كذلك ، قد تصبح المخلفات ، والخشب ، والورق ،  
مصدرا من مصادر الأيدروجين .

فقد اكتشف عالم يعمل فى قسم العلوم البيولوجية ،  
بالمجلس القومى للبحوث الهندى ، خليه بدخيرية ،  
يمكنها تحويل السليولوز ، بكفاءة ، الى أيدروجين ،  
ونواتج أخرى .

وفى تقرير أصدره معمل أوك ريدج القومى ،  
جاء أن الأيدروجين يمكن انتاجه من نظام غير حى ، على  
أساس عملية التمثيل الضوئى ، التى تقوم بها النباتات  
الخضراء .

وتستخدم لهذا الغرض ، كلوروبلاستات السبانخ ،  
ومواد بيولوجية أخرى ، تتميز بالقدرة على الانتشار  
الذاتى .

ومن بين باحثين كثيرين ، نجد أن بعض الباحثين  
فى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ، يحاولون استغلال  
مركبات كيميائية ، تولد الأيدروجين ، عندما تتعرض  
للأشعة فوق البنفسجية .

هذه المركبات ، قد تصبح يوما ، الأساس للخلايا  
الضوئية ، التى سوف تستخدم فى المستقبل .

الا أن كثيرا من الخطط الطموحة ، قد تم بحثها  
على نطاق معملى .

ويحتاج الأمر الى عمل كثير ، والى جهد متواصل ،  
حتى تصبح هذه الطرق عملية .

**ما هى المشكلة ؟**

اذا كنا نعلم كيف نستخدم الأيدروجين ، وكيف  
نتجه ، فما هى المشكلة ؟ ان المشكلة مشكلة تكاليف .

ان كل الطرق التى تستخدم اليوم لانتاج  
الأيدروجين ، واستخدامه ، أكثر تكلفة من انواع الوقود  
البديلة .

الا أننا نتجاهل هنا حقيقة هامة ، ألا وهى أننا  
لا نعرف تماما التكلفة النهائية للطاقة المفيدة ، التى  
توصل الى من يستخدمها .

ومن المهم ، بوجه خاص ، عند حساب التكاليف ،  
أن نأخذ فى الاعتبار ، تلك المشاكل البيئية والاجتماعية  
المتزايدة ، التى سوف نقابلها ، بلا شك ، فى عمليات  
حفر المناجم ، واستخلاص الفحم واستخدامه ، على  
نطاق واسع .

يضاف الى ذلك مشكلة تراكم ثانى اكسيد الكربون

فى الجو ، عند احراق أنواع الوقود الحفرىة  
التقلدىة •

ولعدة أسباب ، نجد أنه من الممكن ، ألا يمكن  
انتاج أنواع الوقود التى تحتوى على كربون •

وفى اقتصاد يعانى من نقص فى الكربون ، سوف  
يبدأ الكثيرون فى تفضيل الأيدروجين على الكهرباء ،  
فى استخدامات كثيرة •

### مستقبل باهر :

وعلى المدى القصير ، فإننا قد نشهد بعض  
الاستخدامات ، على نطاق صغير ، للأيدروجين المود عن  
طريق القوى المائية •

يحتمل أن يحدث هذا فى شمال شرق الولايات  
المتحدة الأمريكية ، حيث ترتفع أسعار الوقود ، وحيث  
توجد بالفعل عدة خزانات مائية صغيرة •

وهذا أصلح مكان لاستخدام أساطيل من الأتوبيسات،  
تعمل بالأيدروجين المنتج من الفحم •

وفى المستقبل القريب ، قد نشهد مؤسسة قومية  
أمريكية ، تعمل بالأيدروجين المنتج من الفحم ، والطاقة  
التي تأتى من المصادر الشمسية •

ان المستقبل سوف يكون باهرا بالنسبة للأيدروجين •



واليوم نجد أن لدينا معظم التكنولوجيا اللازمة  
للبدء فى استخدام الأيدروجين كوقود ، الا أنه ليس  
لدينا العزم أو التصميم على الاستغناء عن وجبة  
الزيت •

ولكن ، يوم يزداد سعر الطاقة الناتجة من أنواع  
الوقود المحفري ، الى ثلاثة أضعاف ، حينئذ سوف  
يصبح الأيدروجين وقود المستقبل •

ان انتاج أنظف أنواع الوقود ، وخزنة ، ونقله ،  
واستخداماته ، أصبحت من الأمور الواضحة •

ومنذ سنوات ، توقعت وزارة الطاقة الأمريكية ،  
ان يبدأ فى عام ٢٠٢٠ ، التحول الى نظام للطاقة ،  
أساسه الأيدروجين •

الا أن الزيادة السريعة ، غير المتوقعة ، فى أسعار  
الوقود ، جعلت بعض المسؤولين يغيرون رأيهم : ان  
التقديرات الحديثة تقترب بهذا التاريخ من عام ٢٠٠٠ •

لماذا نحتاج الى وقود سائل ؟

البتترول مصدر مثالى للطاقة ، فهو سائل مرتفع  
الكثافة نسبيا • وهو متوفر ، ويسهل نقله من مكان  
الى مكان •

وهو يحتاج ، عادة ، الى بعض الجهد ، قبل أن  
يتدفق من الأرض • حينذاك ، يمكن ضخه فى خطوط

الأنابيب ، أو نقله فى الناقلات ، لمسافة تبلغ آلاف الأميال ، ويتم ذلك بطريقة رخيصة ونظيفة .

ويتميز البترول كوقود ذى كثافة طاقة عالية ، أى أن وحدة وزن من البترول تعطى من الحرارة ، عند احراقها ، ما يزيد عما نحصل عليه من احراق وزن مساو من الفحم أو الخشب .

أضف الى ذلك أن البترول وقود نظيف نسبيا ، خاصة اذا ما قورن بالفحم .

لقد كانت نظافة البترول هى أحد الأسباب التى جعلت عددا كبيرا من شركات توليد الكهرباء الأمريكية ، تتحول الى احراق زيت الوقود ، أو الغاز الطبيعى ، بدلا من الفحم .

ان الشوائب المختلطة بالفحم ، يمكن ازالتها بالطبع ، ولكن ، جميع عمليات ازالة الشوائب ، تحتاج الى معاملات اضافية ، وتستهلك طاقة اضافية . يضاف الى ذلك أن عمليات ازالة الشوائب لها نتائج ضارة بالبيئة .

ولكن اذا قورن البترول بالطاقة الشمسية ، ونظافتها ، فانه لا يبدو لنا بنفس الصورة .

### **وقود نظيف واقتصادى :**

ان استبدال البترول ، الذى أخذ يتناقص تدريجيا ،

يعنى أكثر كثيرا من مجرد البحث عن شيء آخر لتدفئة المنارل ، وتوليد الكهرباء •

وبدلا من مقايضة مجموعة من مشاكل المستقبل ( نقص البترول ) ، بمجموعة أخرى ، يخشى ان نذكر ان انواع الوقود التى سوف نحتاج اليها ، يجب الا تقل فى نضادها عن الجازولين ، أو زيت الوقود •

وحتى يمكننا الاستمرار فى التمتع بوسائل الراحة المتاحة ، مثل الطائرات والسيارات ، فان احد انواع وقود المستقبل ، يجب أن يكون سائلا سهل التخزين . يمتاز بطاقة عالية •

واذا واصلنا استخدام كميات هائلة من الكهرباء . فائنا سوف نحتاج الى طرق أفضل لخزنها ونقلها •

يمكن استخدام الأيدروجين ، فى بعض الصور ، لمد السيارات والطائرات بالطاقة المحركة ، ويمكن تخزينه فى تكوينات ملحية ، ويمكن نقله من مكان توليده ، الى مكان استخدامه ، بواسطة نفس النوع من خطوط الأنابيب التى نستخدمها اليوم لنقل الغاز الطبيعى •

وتبين بعض التقديرات الأولية ، أن تكاليف نقل الأيدروجين ، على نطاق واسع ، سوف تزيد عن تكاليف نقل الغاز الطبيعى ، بمقدار خمسين فى المائة . وذلك بسبب الاختلافات فى أقطار الأنابيب ، ومستوى الضغط ، والمسافة بين محطات إعادة الضخ •

الا أن الأيدروجين مازال أكثر اقتصادا في نقله لمسافات طويلة ، من الكهرباء أو الحرارة .

كم سندفع ثمننا لوقود المستقبل السائل ؟

في عام ١٩٨٠ ، كانت الطاقة المتولدة من الأيدروجين المنتج بالتحليل الكهربى ، تكلف مرة ونصف مرة ما تكلفه كمية مكافئة من الجازولين .

ان الأيدروجين المولد بالتحليل الكهربى ، والذي يلزم لانتاج ( جول ) من الطاقة ، يكلف ما بين احدى عشر ، واتنى عشر دولارا .

بينما نجد أن كمية من الجازولين، يبلغ ثمنها ثمانية دولارات ، تعطى نفس الكمية من الحرارة ، عند احراقها ( والمعروف أن الجول = ٩٥ ر - مليون وحدة حرارية بريطانية ) .

هذا ، وينتظر أن يرتفع سعر البترول ارتفاعا كبيرا ، كلما شحت موارده .

ويقدر بعض الخبراء ، أن ثمن الجالون من الجازولين سوف يبلغ عشرة دولارات ، بحلول عام ٢٠٠٠ .

يومئذ ، قد تستخدم الطاقة الشمسية ، أو طاقة

المفاعلات النووية الآمنة ، فى توليد الأيدروجين ، ذى  
السعر المنافس ، بالتحليل الكهربى للماء •

ولا شك فى أن الأيدروجين سوف يكون من المصادر  
الرئيسية للطاقة ، يوم ينتهى عصر وقود البترول •

## البحث عن بدائل الطاقة

---

### الطاقة والتقدم :

فى أثناء دراسته لمادة التاريخ ، فى المدرسة الثانويه ، لاحظ الطالب الامريكى ( اريك فاربر ) ان الأمم والحضارات ، التى كانت تحظى باكبر كميته من الطاقة ، وكانت تستخدم كميات كبيرة منها ، قد تقدمت بسرعة أكبر .

فبدأ هذا الطالب يهتم بدراسة الطاقة الشمسية ، وتحويل الطاقة .

وعندما بحث عن مصادر هذه الطاقة ، وجد ان معظمها كان يأتى من الفحم أو الزيت أو الغاز .

ففكر فيما يمكن عمله لتوفير كميات أكبر من الطاقة . نظر حوله ، فوجد مصدرا كبيرا للطاقة ، كبيرا دائما بما فيه الكفاية ، ألا وهو الطاقة الشمسية .

و اليوم ، نجد أن الطالب ( اريك فاربر ) قد حصل على درجة الدكتوراه ، وأصبح أستاذا ، ومديرا للمعمل

الطاقة الشمسية وتحويل الطاقة ، فى جامعة فلوريدا ،  
فى مدينة جينزفيل .

### حرب البترول :

لقد مر ما يقرب من عشرين عاما على حرب  
البترول ، التى شنتها الدول العربية المصدرة للبترول .  
وكان هذا الحدث نقطة تحول فى التاريخ الاقتصادى  
والتكنولوجى لدول العالم .

فقد أدى الى أول زيادة كبيرة من عدة زيادات  
متتالية فى أسعار البترول . وكان من نتيجة ذلك ان  
ارتفع متوسط سعر البترول حوالى احدى عشرة مرة ،  
فى خلال عشرة أعوام .

وقد أدى ذلك الى تغيير التوقعات ، بالنسبة لأولئك  
الذين اعتبروا البترول أساسا لارتفاع عالمى فى مستوى  
المعيشة .

ولم يكن فى الامكان ، بعد ذلك ، مد آلة التطوير،  
بالوقود الرخيص .

### تمكنت من التأقلم :

لقد ارتفعت أسعار البترول ارتفاعا كبيرا ،  
وبصورة مفاجئة .

وقد أدى ذلك الى ظهور مصاعب اقتصادية في الدول الصناعية .

الا أن تلك الدول تمكنت من التأقلم على هذه الظروف الجديدة . فقد أعادت تصميم القطاعات السكنية والصناعية ، للمحافظة على الموارد الشحيحة . وقد أدى ذلك الى تقليل الطلب على البترول ، الأمر الذى كان له تأثير ملطف على حدة ارتفاع الأسعار . أما دول العالم النامية ، فانه لم يكن لها مثل هذا الحظ .

فقد ارتفعت أسعار البترول ، الا أن أسعار المنتجات الزراعية الأساسية ظلت ثابتة ، بل انخفضت فى بعض الأحوال .

ففى أوائل السبعينات ، كأن ثمن برميل الزيت يعادل تقريبا ثمن أربعة عشر كيلو جراما من السكر . وفى عام ١٩٨٣ ، أصبح ثمن هذا البرميل نفسه، يعادل ثمن واحد وتسعين كيلوجراما من السكر .

### الطاقة المتجددة :

ونتيجة لهذه الزيادة الكبيرة فى أسعار الزيت ، بدأت مصادر الطاقة المتجددة اللا بترولية تصبح أكثر جاذبية .



وبدا خبراء الطاقة في الدول النامية ، يخططون للاستفادة من طاقة الشمس ، وطاقة الرياح ، وطاقة المياه ، وطاقة المزارع بطرق أكثر كفاءة .

واستجابت الوكالات الخاصة والعامة ، في العالم الصناعي ، عن طريق تقديم المعلومات الفنية .

ان الدكتور ( اريك فاربر ) رئيس معمل الطاقة الشمسية وتحويل الطاقة ، في جامعة فلوريدا ، اخذ ينظم اجتماعات علمية ، في مجال ترويض مصادر الطاقة المتجددة ، في المناطق الريفية ، يحضرها خبراء من جميع بلاد العالم .

وقد أعد قائمة بالمعايير اللازمة لاختيار أفضل مصادر الطاقة :

أولا : امكان الوصول الى النتائج المطلوبة ، باستخدام أقل كمية ممكنة من الطاقة . وهذا ما يطلق عليه تعبير « الحفاظ على الطاقة » .

ثانيا : البحث عن أفضل مصدر للطاقة ، من ناحية توفره ، وامكانية تحويله ، ومن الناحية الاقتصادية ، والقبول الاجتماعي ، وغير ذلك .

ثالثا : مراعاة أنه يجب أن تكفل بالنجاح جميع الجهود المبذولة .

رابعا : يجب أن تنجز المشروعات بتكلفة معقولة .

خامسا : يجب أن يكون ذلك متناسبا للتركيب الاجتماعي

## التكنولوجيا الكهربائية الضوئية :

تتوفر جميع هذه المتطلبات فى الطاقة الاشعاعية للشمس .

ومنذ عشرات السنين ، استخدمت عدة أنواع من السخانات الشمسية ، لتسخين المياه ، لاستخدامها فى الغسيل والاستحمام .

وهذه السخانات الشمسية ، يراها الناس اليوم تبعث من جديد ، فى كثير من البلاد .

الا أن هناك تكنولوجيا أخرى لاستئناس أشعة الشمس ينتظر أن يكون لها مستقبل اكبر ، الا وهى التكنولوجيا الكهربائية الضوئية .

تصنع الخلايا الكهربائية الضوئية ( أو الشمسية ) من عنصر السيليكون ، وهو المكون الأساسى للرمل ، وهى تحول ضوء الشمس الى كهرباء ، بطريقة مباشرة .

لقد كانت هذه الخلايا ، فى يوم من الأيام ، غالية الثمن الى درجة أن استخدامها كان قاصرا على الاستخدامات الخاصة ، مثل مد الأقمار الصناعية باحتياجاتها من الكهرباء .

وفى خلال الأعوام الماضية ، ظهرت طرق صناعية جديدة ، أدت الى خفض أسعار هذه الخلايا ، الى درجة كبيرة ، ذلك أن ثمنها اليوم أصبح يعادل حوالى أربعين فى المائة مما كان عليه منذ أعوام .

## توليد الكهرباء في المناطق النائية :

يعمل السيد ( كريستوفر فليمن ) باحثاً في معهد المراقبة العالمية ، وهي منظمة في واشنطن ، تقوم بتحليل الاتجاهات الاقتصادية ، والاجتماعية ، والبيئية العالمية .

وفي دراسة بعنوان «حال العالم في عام ١٩٨٤» ، يتنبأ هذا الباحث بأن الخلايا الشمسية ، وهي إحدى تمار أبحاث الفضاء ، سوف تجد استعمالات حيرة في الدول النامية ، في السنوات القادمة .

ويحتمل أن يكون أكثر استعمال لها في المناطق الريفية ، في البلاد النامية ، بل وفي البلد المصدمة كذلك .

والسبب في ذلك أن أسعار الطاقة ، في تلك المناطق ، هي في العادة أعلى ، والبدائل المتاحة أقل .

وعندما زار هذا الباحث المناطق النائية من ألاسكا ، وجد أن سعر الكهرباء هناك يبلغ حوالى خمسين سنتاً لكل كيلو وات ساعة - يقارن ذلك بخمسة سنتات لكل كيلو وات ساعة في ( أنكوريج ) ، وهي مدينة كبيرة في ألاسكا .

والوضع في المناطق النائية من ألاسكا مشابه لما يمكن أن يكون عليه الحال في مناطق ريفية من قارة أفريقية ، أو آسيا ، أو أمريكا اللاتينية .

وعندما تكون الكهرباء مولدة بمولدات تعمل بالديزل ، فإن استخدام الخلايا الكهربائية الضوئية يكون أفضل من الناحية الاقتصادية .

### استخدامات عديدة :

ويرى السيد ( فليغن ) أن الكهرباء المولدة عن طريق الطاقة الشمسية ، لها استخدامات عديدة في تلت القرى ، التى لا تخدمها محطات القوى المركزية .

فهناك المبردات التى يمكن أن تستخدم لتخزين الطعام الواقية من الامراض ، وغيرها من الأدوية والأغذية .

كما تستخدم الكهرباء الشمسية للإضاءة ، لفترات محدودة ليلا ، أو للقراءة ، أو لضخ المياه ، وطحن الحبوب ، واستعمالات أخرى محدودة نسبيا .

ان هذا المصدر من مصادر الطاقة مهم جدا فى تلك المناطق التى لا يخدمها مصدر آخر .

### المبرد الشمسى :

لقد قامت هيئة أبحاث الفضاء الأمريكية ( ناسا ) بتطوير مبرد يعمل بالطاقة الكهربائية الضوئية ، باستخدام التكنولوجيا المكتسبة عن طريق تطوير الأقمار الصناعية ، التى تستمد القوة من الطاقة الشمسية .

ان هذا المبرد الشمسى قد ينقذ حياة الكثيرين ،  
وخاصة فى القرى التى تفتقر الى الكهرباء .

ذلك أن كثيرا من الطعوم التى تستخدم للوقاية من  
الأمراض ، تحتاج الى حفظها عند درجات حرارة  
منخفضة ، حتى لا تفقد فعاليتها .

واليوم يجرى تحقيق ذلك فى كثير من المناطق .  
عن طريق استخدام مبردات تعمل بالكروسين .  
لذلك ، نشأت فكرة مد هذه المبردات بالكهرباء .  
عن طريق استخدام نظام كهربى ضوئى .

وفى المناطق النائية ، يمكن استخدام الطاقة  
الشمسية ، لمد هذه المبردات بالطاقة ، بحيث يمكن حفظ  
هذه الطعوم عند درجة الحرارة المناسبة ، بحيث يمكن  
للأطباء والمرضات الانتقال الى المنطقة ، وتطعيم  
الناس بهذه الطعوم ، لوقايتهم من الأمراض .

ويبلغ حجم المبرد الشمسى حوالى متر مكعب واحد .  
وهو متصل بمجموعة من الخلايا الشمسية ، التى تولد  
حوالى ١٥٠٠ وات .

وهناك بطاريات تخزين ، يمكن اعادة شحنها ،  
واستخدامها لتشغيل هذا المبرد ، عندما تختفى الشمس  
وراء السحب ، أو بعد أن تغرب .

لقد وضع عدد من هذه المبردات الشمسية فى عدة  
قرى ، فى أماكن مختلفة من العالم ، لاختبارها .

وفى خلال زمن وجيز ، أصبح المبرد الشمسى معدا للبيع ، على نطاق تجارى ، عن طريق المنتجين ، فى القطاع الخاص .

### كهربة قرى بأسرها :

هذا ويجرى تطوير النظم الكهربائية الضوئية ، الى نظم لكهربة قرى بأسرها .

فقد قامت مؤسسة ( ناسا ) بالتعاون مع وكالة التطوير الدولية ، باقامة نظام كهربى ضوئى ، تبلغ قدرته ثمانية كيلووات ، فى جزر مارشال ، فى جنوب المحيط الهادى . وسوف يمد هذا النظام أربعين شخصا بالقوة الأساسية ، بما فى ذلك الاضاءة .

وفى الجابون ، فى غرب أفريقيا ، تم التخطيط لاقامة أربعة من نظم الطاقة الكهربائية الضوئية ، لأغراض الاضاءة ، والاتصالات اللاسلكية ، وضخ المياه .

كما تم التخطيط لاقامة نظام اكبر كثيرا ، فى تونس ، تبلغ قدرته ٣٠ كيلووات ، لمد السكان بخدمات مماثلة .

### مشروعات أخرى :

لقد بين الدكتور ( فاربر ) أن أية تكنولوجيا ، مهما

كانت هامة ومفيدة ، لا قيمة لها ما لم تناسب الظروف المحلية .

ولكن لأن هذا يبدو ممكنا ، فانه أصبح الهدف لبرنامج يجرى بالتعارن بين هيئة AID ، والاكاديمية الأمريكية للعلوم : اذ تقدم الاكاديمية المعلومات الفنية ، عن المتروعات الشمسية المفيدة ، التى يمكن لعلماء الدول المختلفة تحويلها ، لتناسب احتياجاتهم الخاصة .

ففى تايلاند مثلا ، قدمت الاكاديمية بعض المساعدات ، لتطوير مجفف للمحاصيل الزراعية .

وهذا المجفف عبارة عن صندوق كبير ، منحدر السطح ، يسخن فيه الهواء ، الذى يمر بعد ذلك فى المحصول المراد تجفيفه . ويستخدم هذا الجهاز فى تايلاند لتجفيف الارز .

### القبول على المستوى الشعبى :

ولعل الاختبار النهائى لأية تكنولوجيا ، هو القبول على المستوى الشعبى .

يرى الدكتور ( اريك فاربر ) أن الناس غالبا ما يرفضون الطرق الجديدة ، لأسباب لا علاقة لها بالتكنولوجيا .

ففى أفريقيا مثلا ، نجد أنه فى كثير من القرى ، يقوم الناس بطهى طعامهم عن طريق إشعال نار

مفتوحة ، يجلسون حولها للتدفئة ، ويبقونها مشتعلة  
ليلا للانارة .

كما أن من عاداتهم الاجتماعية ، الجلوس ليلا حور  
النار ، بعد انتهائهم من وجبة العشاء ، لشرب الشاي .  
الذى يعدونه على تلك النار المشتعلة ، والتسامر  
والحدث في امور حياتهم .

وفي كثير من الأحيان ، نجد أن الحكومات ، في بعض  
الدول النامية ، بل وفي الدول الصناعية كذلك ، قد  
وجدت أن ما يحتاج اليه هؤلاء الناس ، انما هو مواقد  
ذات كفاءة عالية ، يستخدمونها في طهي الطعام ، وفي  
التدفئة والانارة ، وذلك لتوفير الخشب ، الذي تشتد  
الحاجة اليه في كثير من الأحيان .

إذا أمكن مد هؤلاء الناس بمواقد أكثر كفاءة ،  
فانهم سوف يتمكنون من طهي طعامهم بكفاءة أكبر ،  
كما أنهم سوف يتمكنون من توفير احتياجاتهم من  
الحرارة والضوء ، وسد احتياجاتهم الاجتماعية .

وهو يرى أنه من الأفضل أن يتعلم هؤلاء الناس  
كيفية زراعة أشجار الأخشاب ، بطرق أسرع وأحسن ،  
بحيث يمكنهم تصدير تلك الأخشاب ، والحصول على  
الأموال اللازمة لرفع مستوى معيشتهم ، وحل مشاكلهم .



## انشرط الثانى :

وبالاضافة الى القبول على المستوى الشعبى ، فان  
أية تكنولوجيا للطاقة المتجددة ، يجب أن تستوفى  
الشرط الثانى ، الذى وضعه الدكتور ( فاربر ) ، وهو  
امكان تطبيق تلك التكنولوجيا محليا .

مثال ذلك أن تربينات الرياح المصممة حديثا ،  
تقوم بتوليد الكهرباء ، فى كثير من بلاد العالم .  
ولكنه فى مناطق أخرى نجد أن متوسط الرياح قد  
لا تكون كافية لتوليد الكهرباء بطريقة مستمرة وثابتة .

الا أن الأهم من ذلك ، هو أن تكلفة أية طاقة  
بديلة مقترحة ، يجب أن تكون تكلفة معقولة ، ويرى  
السيد ( فليمن ) أن هذا الشرط يمكن أن يستوفى  
بسهولة متزايدة ، فى العديد من النظم الشمسية  
الكهربية الجديدة .

فاذا قارنا نظاما كهربيا ضوئيا ، بنظام آخر يعمل  
بالديزل ، فاننا نجد أن النظام الأول يكلف أكثر فى  
اقامته . ولكن نظرا لطول عمر هذا النظام ، فاننا  
سوف نجد ، فى النهاية ، أنه يتكلف أقل .

أما نظام الديزل ، فانه يحتاج الى مدء بالوقود ،  
باستمرار ، لتشغيله ، ويبلغ ثمن هذا الوقود أكثر من  
دولار للجالون .

## صناعة جديدة :

الا أن اقامة نظم للطاقة البديلة ، وصيانتها .  
يمكن أن يكون مصدرا لاعمال جديدة ، فى تلك المناطق  
التي تعاني من مشكلة الزيادة فى الأيدى العاملة .  
كما أنها يمكن أن تكون أساسا لقيام صناعة  
جديدة .

ذلك أنه من المعقول بناء النظم الكهربيه الضوئية  
محليا ، بدلا من استيرادها .

لذلك ينتظر أن تقوم كثير من الدول انامية ،  
التي تجذبها هذه التكنولوجيا الجديدة ، بالاصرار على  
أن تقوم الشركات التي تحصل منها على هذه التكنولوجي  
الجديدة ، باقامة مصنع لهذه النظم البهريية الضوئية،  
فى البلد الذى تجد فيه سوقا نامية لتلك النظم .

لذلك يتوقع الخبراء أن تنتشر مصانع لهذه  
التكنولوجيا الجديدة ، وأن تستخدم هذه الخلايا  
الشمسية على نطاق واسع .

ان أسعار الزيت المرتفعة ، التي يعاني منها  
الكثيرون فى يومنا هذا ، تفرض على الدول النامية  
تحديات جديدة .

كما أنها تقدم فرصة لبناء اقتصاد أكثر صلابة ،  
وتجنب مخاطر الاعتماد الكامل على البترول .

## الكهرباء من الشمس

---

### الخلايا الكهربية الشمسية :

ان احتمالات الحصول على امدادات من الكهرباء ،  
عن طريق الخلايا الكهربية الشمسية ، لاستخدامها على  
الأرض ، مازالت غير متطورة •

لقد كانت معامل أبحاث « بل » هي أول من أنتج  
الخلايا الشمسية الحديثة ، في الخمسينات ، ثم أنتجها  
بكميات كبيرة للاستخدامات المخصصة •

وتوصل الخلايا الشمسية الصغيرة ، التي تبلغ  
مساحتها  $2 \times 2$  سم ، على هيئة ألواح تضم موزايكت  
معقدة من الخلايا ، يمكنها أن تمدنا بآلاف الواطات ،  
أو الكيلو واطات ، من القوة الكهربية •

ان أكثر المواد استخداما في صناعة هذه الخلايا  
الشمسية هو عنصر السيليكون •

وهذا العنصر هو ثاني أكثر العناصر انتشارا على  
الأرض •

ويوجد هذا العنصر في الشواطئ الرملية ، وفي الصحارى ، في كل مكان .

واليوم تستخدم الخلايا الشمسية لمد الأقمار الصناعية ، ومركبات الفضاء ، بحاجتها من الكهرباء .  
ان أكثر من ٦٠٠ قمر صناعى أمريكى ، و ٤٠٠ قمر صناعى سوفيتى قد جهزت بالمعدات التى تمكنها من استخدام الطاقة الشمسية .

### محطة الفضاء ( سكاي لاب ) :

وعندما علمت ادارة الفضاء والملاحة الجوية الأمريكية بفشل لوحين شملاقيين من الألواح الشمسية، عند اطلاق محطة الفضاء ( سكاي لاب ) ، فى شهر مايو من عام ١٩٧٣ ، تبين أن هذه الألواح الشمسية هى أهم عناصر القوة للمركبات الفضائية .

ولم تكن هذه الألواح الشمسية هى السبب فى هذا الفشل .

ففى خلال ٦٣ ثانية ، بعد اطلاق المحطة الفضائية، التى تكلفت ٢٩٤ مليوناً من الدولارات ، كان هناك درع للوقاية من الحرارة الحرجة ، صمم ليعزل داخل المركبة عن حرارة الشمس ، وليحمى معمل الفضاء ( سكاي لاب ) من ضربات الميتيورات الصغيرة .

لقد انفصل هذا الدرع ، عن المركبة ، بطريقة

لا يمكن تفسيرها • وأدى ذلك الى عدد من صور الفشل الأخرى ، التي تشمل فقد لوحين شمسيين ، صمما ليتمدا المحطة الفضائية بألف وتسعمائة واط من الكهرباء • ذلك أن هذين اللوحين لم يتمكننا من الانفصال عن جهاز التثبيت ، الذى يشبه آلة الأوكورديون الموسيقية ، والمثبت فى المحطة الفضائية •

ولكن أربعة ألواح شمسية أخرى لم تتأثر بهذا الحادث ، وانفتحت حسب الخطة الموضوعة •

لقد أمدت هذه الألواح الباقية ، محطة سكاي لاب ، بنسبة آلاف وسبعمائة واط من الكهرباء •

لقد جهزت محطة الفضاء سكاي لاب ، بأكبر ألواح شمسية أطلقت الى الفضاء •

ولو أن هذه الألواح جميعها عملت بنجاح ، لقامت أكثر من ٥٠٠ ألف خلية شمسية ، تغطى ٢٥٠٠ قدم مربع من مساحة الألواح ، بمد هذه المحطة الفضائية ، باحتياجاتها من الكهرباء •

### الطاقة النووية :

وباستثناء خلايا الوقود ، فان مصدر الطاقة البديل الوحيد ، لمركبات الفضاء ، هو النظائر الاشعاعية . المشعة للحرارة ، والتي توضع فى عبوات صغيرة •

ان وحدات الطاقة النووية هذه ، تستخدم الحرارة

الناجمة عن التحلل الاشعاعى ، لتشغيل مولدات كهربية صغيرة .

وبعكس المفاعلات النووية ، التى تقام على الأرض،  
والتى تجهز بوسائل الوقاية من آثار الحوادث اامينة،  
فان هذه المصادر للطاقة النووية ، والتى تحملها  
مركبات الفضاء ، لا تجهز بمثل هذه الاحتياطات .  
ولا تعتمد الا على مقدرة الكبسولة نفسها ، على احتواء  
المواد المشعة - بما فى ذلك البلوتونيوم ، وهو أخطر  
السموم المعروفة .

وقد وقعت عدة حوادث ، فقدت فيها نظم الطاقة  
النووية الفضائية ، عند العودة الى جو الأرض .

لقد حدثت حادثتان خطيرتان ، لمركبتى فضاء  
أمريكيتين : فقد احترق قمر صناعى ، فى الستينات ،  
فوق ايطاليا ، عند عودته من الفضاء الخارجى ، وتناثر  
عنصر البلوتونيوم فى طبقات الجو العليا .

كما أدى فشل طراً عند عودة مركبة أبولو من  
الفضاء الخارجى فى عام ١٩٧٠ ، حاملة عبوة من  
البلوتونيوم ، الى دفن هذه العبوة ، فى أعماق المحيط  
الهادى .

ولحسن الحظ ، لم تهبط هذه العبوة على سطح  
الأرض ، ولم تتناثر محتوياتها هناك .

## أكثر من ثلاثة أضعاف :

ولقد انعكس نفوذ مؤسسة الطاقة النووية الأمريكية ، على ما قدمته الحكومة الفدرالية ، من تمويل لأبحاث تطوير الطاقة الشمسية ، مقارنة بما قدمه لمشروعات مركبات الفضاء ، التي تمدها الطاقة النووية ، باحتياجاتها من الكهرباء •

وبالرغم من أن مولدات الكهرباء النووية قد استخدمت في عشر مركبات فضاء أمريكية بدون آدميين ، ( ويقارن هذا بأكثر من ٦٠٠ مركبة فضائية استخدمت فيها نظم الكهرباء الشمسية ) ، وبالرغم من أن الطاقة النووية قد قدمت جزءا من سنين من الكهرباء ، نجد أن الحكومة الفدرالية الأمريكية قد أنفقت أكثر من ثلاثة أضعاف ما أنفقته على أبحاث استخدامات الكهرباء الشمسية في الفضاء ، في تمويل أبحاث النظم النووية الخطرة •

مثال ذلك أنه بين عامي ١٩٦٦ و ١٩٧٣ ، أنفقت الإدارة القومية للملاحة الجوية والفضاء حوالي ٤١ مليون دولار ، لتطوير الكهرباء الشمسية ، للاستخدامات الفضائية •

وفي نفس الفترة ، أنفقت هذه الوكالة أكثر من ١٢٠ مليوناً من الدولارات على النظم النووية الفضائية •  
ان هذا لا يعكس الا رقما جزئيا ، ذلك أن ادارة

الطاقة الذرية قد أنفقت مبلغا مساويا على تطوير  
النظم النووية الصغيرة .

### خلايا السيليكون الصغيرة :

وفي عام ١٩٦٠ ، كانت هناك عدة شركات تقوم  
بصناعة خلايا السيليكون الصغيرة ، لتستخدمها مركبات  
الفضاء الأمريكية .

ولكن بحلول عام ١٩٧٣ ، بقيت شركتان فقط  
في خدمة هذه السوق الصغيرة ، التي يبلغ حجم مبيعاتها  
عدة ملايين قليلة من الدولارات في العام : قسم هليوتك  
- سبكترولاب في شركة تكسترون ، وقسم سنترلاب  
في شركة جلوب - يونيون ، في جنوب كاليفورنيا .

لقد ارتفعت كفاءة تحويل ضوء الشمس الى  
كهرباء ، في هذه الخلايا السيليكونية ، من ٣ - ٤  
في المائة في الخمسينات ، الى ١٠ - ١١ في المائة في  
أواسط الستينات وأوائل السبعينات . ثم بقي هذا  
المستوى ثابتا تقريبا حتى عام ١٩٧٢ ، عندما أنتجت  
شركة أقمار الاتصالات (كومات)، في كلاركسبورج،  
بولاية ماريلاند ، خلية سيليكون محسنة الى درجة  
كبيرة .

### تكاليف باهظة :

وللاستخدامات الفضائية ، نجد أن المنتجين



الأمريكيين المتبقين قد استخدموا ما وصف بأنه الطرق الدقيقة لصانع الجواهر ، فى صنع الخلايا الشمسية .

لقد استخدموا نوعا نقيًا خاصا من السيليكون أحادى البلورة ، صنع خصيصا لتصنع منه الخلايا الشمسية ، التى تتكون من رقائق رفيعة من السيليكون ، يبلغ سمكها كسورا قليلة من الالف من البوصة ، وتبلغ مساحة الواحدة منها بوصة ونصف .

ان طبيعة صناعة الكوخ التى استخدمت فى صنع الخلايا الشمسية ، وتكاليف السيليكون النقى ، احدها لرفع تكاليف الكهرباء الناتجة عن هذه الخلايا ، الى مستويات فلكية .

لقد كانت الخلايا الشمسية وحدها تتكلف حوالى مائة ألف دولار لكل كيلو واط من الكهرباء تنتجه فى الفضاء . وهذا لا يشمل تكاليف نظام القوى الخاص بالأقمار الصناعية ، أو تكاليف اطلاق القمر الصناعى الى الفضاء ، اللذين يرفعان بدورهما تكاليف القوى الكهربائية الفضائية الى مائتى ألف دولار لكل كيلوواط ، أو أكثر من ذلك .

والمعروف أن بعض الخلايا الشمسية ، التى استخدمت فى رحلات الفضاء ، قد تكلفت حوالى ٨٠٠ ألف دولار لكل كيلو واط من الكهرباء .

واذا وضعت ألواح من خلايا السيليكون الشمسية ،

التي صنعت لتجهز بها الأقمار الصناعية ، للوكالة القومية للرحلات الجوية والفضاء ( ناسا ) ، في مناطق مشمسة من الولايات المتحدة ، فان التكاليف يمكن ان تكون عالية للغاية ، وذلك اذا ما قورنت بتكاليف محطات القوى التقليدية .

ان ثمن الخلايا وحدها ، ( وهو مائة ألف دولار لكل كيلو واط من القدرة الكهربائية للمحطة ) ، يزيد عن تكاليف محطة كهربائية كاملة ، تعمل بالوقود الحفري ( حوالى ٣٠٠ دولار لكل كيلو واط من قدرة المحطة ) .

الا ان هذا العامل المعوق لم يبعث الخوف في نفوس العلماء ، والمؤسسات التجارية ، الذين اقتنعوا بأن الاكتشافات العلمية ، التي تم تحقيقها فى السبعينات ، وطرق الانتاج الكبير ، قد يمكنها تخفيض تكاليف الكهرباء الشمسية، المولدة من الخلايا الشمسية، الى مستوى منافس للكهرباء التقليدية - وبدون التكاليف البيئية لمحطات القوى التقليدية .

وفى الفترة بين الستينات وعام ١٩٧٢ ، ظلت كفاءات تحويل الطاقة الشمسية ، عن طريق خلايا السيليكون ، تتراوح بين ١٠ و ١١ فى المائة - وذلك بالرغم من الحسابات الفنية التى دلت على امكانية زيادتها الى ٢٢ فى المائة .

ان هذا التأخر فى تطوير خلايا أفضل ، يرجع جزئيا الى التكنولوجيا .

ولكن يجب علينا ألا نغفل السياسة من نصيبها  
المساوى من المسئولية •

### التكنولوجيا :

ومن المفيد دراسة الطريقة التى تحول بها خلية  
السيليكون ، ضوء الشمس الى كهرباء ، حتى نتمكن من  
تقدير امكانيات انتاج خلايا سيليكون أكثر كفاءة ،  
وأقل تكلفة •

يمكن لخلية السيليكون الشمسية تحويل ضوء  
الشمس الى كهرباء ، عن طريق الخصائص الفريدة  
لعنصر السيليكون نفسه ، الذى هو مادة شبه موصلة ،  
فهو موصل كهربى ، وعازل كهربى ، فى نفس الوقت •  
وتستعمل المواد شبه الموصلة ، على نطاق واسع ،  
خارج صناعة الخلايا الشمسية ، التى تعد من أصغر  
الصناعات التى تستخدم السيليكون ، وغيره من المواد  
شبه الموصلة •

ان توفر هذه المواد شبه الموصلة جعل من  
الترانزيستور حقيقة واقعة ، بحيث أمكنه أن يحل محل  
الصمامات الكبيرة الحجم ، فى المعدات الالكترونية ،  
كما أدخل ثورة فى علم الالكترونيات الحديث •

## صناعة الخلايا الشمسية :

ان السيليكون الذى تنتج منه الخلايا الشمسية .  
ينمى على هيئة بلورات مفردة كبيرة .

كما أن شرائح السيليكون الرقيقة ، التى تكون  
أساس الخلية الشمسية ، تقطع من مصبوب البلورات .  
بصبر وأناة ، باستخدام مناشير ماسية ، عالية الدقة .  
ثم تغطى شرائح السيليكون بمواد أخرى ، مثل  
البورون ، لتعطى طبقة كهربية موجبة ، تتفاعل مع  
طبقة السيليكون ذات الشحنة السالبة .

ان طبقة السندويتش الحرجة هذه ( او وصلة  
الموجب - السالب ) هى مفتاح انتاج الكهرباء ، وهى  
التي تعطى خلية السيليكون خاصيتها الكهربية  
الضوئية ، (أو الفوتو فولتائية) .

وقد اشتقت هذه الكلمة الأخيرة من لفظ «فوتو» ،  
ويعنى الضوء ، ولفظ « فولتائى » الذى يشير الى  
الكهرباء . ( واللفظ الآخر مأخوذ من اسم السنيور  
فولتا ، أحد رواد القرن التاسع عشر فى اكتشاف  
الكهرباء ) .

### تيار مستمر :

تعرف الجسيمات الأولية للطاقة ، فى ضوء  
الشمس ، بالفوتونات .  
وعندما تطرق هذه الفوتونات سطح خلية السيلكون،

فانها تتحول الى الكترونات فى وصلة الموجب -  
السالب .

وتقبل الطبقة الموجبة الالكترونات ، بينما ترفضها  
الطبقة السالبة ، وينشأ عن ذلك تيار مستمر .

ويحول هذا التيار الى أسلاك كهربية ، عن طريق  
موصل كهربى ، مغموس فى الطبقة السطحية من الخلية  
الشمسية .

وفى الخلية الشمسية المعتادة ، التى تبلغ أبعادها  
 $2 \times 2$  سم ، التى تستخدم فى سفن الفضاء ، تقوم  
سته أصابع دقيقة من الفضة ، مغموسة فى الخلية  
الشمسية ، بالتقاط كهرباء الخلية ، ثم تنتقل الكهرباء  
الى بطاريات التخزين ، ثم الى المعدات الكهربية .

ولخلايا السيليكون التقليدية ( التى تبلغ كفاءتها  
من ١٠ الى ١١ فى المائة ) وصلة موجب - سالب عميقة  
نسبيا ( ولو أن عمقها يبلغ ٤ آلاف وحدة أنجستروم  
فقط ) .

ويعمد هذا العمق أمرا ضروريا لتوصيل التيار  
الكهربى من الخلية .

وتستلزم هذه الوصلة العميقة استخدام كمية كبيرة  
من بلورة السيليكون ، فى صناعة كل خلية شمسية -  
الأمر الذى يزيد من تكاليف الخلية الشمسية .

## كميات كبيرة من الطاقة :

وهناك عوامل أخرى تضيف زيادات أخرى الى التكاليف :

العمالة المدربة الى درجة عالية ، والتي تقوم بتقطيع مصبوب السيليكون ، والطريقة التي تعبر بدائيته ومستهلحة للوقت ، والتي تستخدم في تنميته البلورات ، وتقطيع السيليكون الى شرائح رفيقة ، والتالف الكثير من السيليكون ، والذي يبلغ حوالى ثلثه ، والذي ينشأ عن تقطيع الشرائح المسنديرة ، الى خلايا مربعة ، ثم السعر الأساسى المرتفع لخام السيليكون .

ان مادة خام السيليكون ، وهى الرمل ، مادة متوفرة .

ولكن تنقية السيليكون المتبلر تحتاج الى كميات كبيرة من الطاقة .

لقد بين الدكتور ( مارتن وولف ) من جامعة بنسلفانيا ، أثر هذه التكاليف المرتفعة ، أمام اجتماع لاختصاصى الخلايا الشمسية .

يجب أن نأخذ كل متر مربع من نظم الكهرباء المركبة حديثا ، ٧٥٠٠ كيلوواط من الطاقة الكهربائية ، قبل استعادة الطاقة المستخدمة فى انتاج هذه النظم .

ويشرح الدكتور وولف هذه العبارة ، فيقول :  
ان هذا يعني أنه لو قام شخص بتركيب لوح شمسي  
من خلايا السيليكون ، فوق سطح منزله ، لتوفير  
احتياجات المنزل من الكهرباء المولدة من ضوء الشمس ،  
فان القدرة الكهربائية المستخدمة في صناعة هذه الخلايا ،  
لن تستمد من هذه المجمعات الشمسية قبل مرور  
٤٠ عاما .

### نتج كهرباء أكثر :

هذه الحقيقة ، بالاضافة الى التكاليف العالية  
للفاية لخلايا السيليكون ، التي تستخدم في الاستخدامات  
المضائية ، كل ذلك دفع الدشور جوزيف ليندماير ،  
مدير معمل الفيزياء في شركة اعمار الاتصالات ، الى  
مواصلة تطوير خلية سيليكون شمسية ، يمكنها ان  
تنتج كهرباء أكثر ، من كل جرام من السيليكون يدخل  
في صنعها ، بينما تحتاج في صنعها الى كمية اصغر  
من السيليكون - وواضح ان اتحاد هذين العاملين يؤدي  
الى امكان انتاج كهرباء أكثر ، بتكاليف أقل .

لقد كان الدكتور ( ليندماير ) في وضع فريد ،  
في معامل شركة اعمار الاتصالات ( كومسات ) ، لأن  
هذه الشركة كانت أحد المستخدمين القلائل لخلايا  
السيليكون الفضائية ، بالاضافة الى وكالة ( ناسا ) .  
لقد استخدمت اعمار كومسات ، خلايا سيليكون

شمسية ، لمبد الأجهزة بالكهرباء اللازمة لارسال المعلومات من الفضاء الى الأرض .

### ثورة فى تكنولوجيا أشباه الموصلات :

لقد بين الدكتور ( ليندماير ) أنه قد أدهشه ، لعدة سنوات ، أن صناعه خلايا السيليكون الشمسية ، قد اعتراها الركود ، فى الستينيات والسبعينيات ، بالرغم من التقدم المستمر ، بخطوات واسعة ، الذى كان يجرى خلال هذه الحقبة ، لتطوير المواد شبه الموصلة ، وخاصة السيليكون ، لاستخدامها فى عدد من التطبيقات الأخرى .

مثال ذلك ، تطوير التكنولوجيا المعقدة ، لأشباه الموصلات ، باستخدام رقائق السيليكون المعروفة بالتشبيس ، وهى قطع صغيرة من السيليكون ، تحتوى على طبقات موصلة ، بحيث أصبح من الممكن صنع الكمبيوتر الصغير .

لقد استنتج الدكتور ( ليندماير ) أن صناعة خلايا السيليكون الشمسية ، يجب أن تستفيد من هذه الثورة فى تكنولوجيا أشباه الموصلات ، المصنوعة من السيليكون .

لذلك نجده قد توصل الى أنه باستخدام طرق الانتاج التى طورتها صناعة أشباه الموصلات ، فانه قد



يكون قادرا على تطوير خلايا شمسية محسنة ، أرخص  
ثمنا من تلك المتاحة عن طريق موردى وكالة (ناسا) .

### الخلية البنفسجية :

وفى شهر مايو من عام ١٩٧٥ ، أعلن فريق البحث  
العلمى ، الذى كان يعمل مع الدكتور ( ليندماير ) ،  
والذى لم يكن يضم علماء لهم خبرة سابقة بخلايا  
السيليكون الشمسية ، أنه قد امكن تحقيق هدف  
البحث .

لقد تمكنوا من صنع خلية شمسية جديدة فى  
معملهم ، وأطلقوا عليها اسم « الخلية البنفسجية » ،  
لأنها كانت تحول قدرا أكبر من ضوء الشمس ، الى  
كهرباء ، فى المدى البنفسجى وفوق البنفسجى من طيف  
الضوء ، عما كانت تحوله خلايا السيليكون التقليدية .

### تصميم جديد :

لقد صممت هذه الخلية الجديدة ، باستخدام  
العمليات الحديثة لصناعة أشباه الموصلات ، واتى  
تشمّل :

١ - استخدام طرق خاصة للتغطية ، تضيف طبقات  
من السيليكون ، عن طريق ترسيب البخار ، فى  
اناء مفرغ من الهواء .

٢ - استخدام وصلة كهربية ( موجب - سالب ) ضئيلة

العمق ، اذ يبلغ عمقها ألف وحدة انجستروم .  
وهو ربع العمق المقابل فى الخلية التقليدية ، وهذا  
يقلل الى النصف كمية السيليكون اللازمة لصنع  
الخلية .

٣ - استخدام دائرة موصل كهربى جديدة فى الخلية .  
وتحتوى الخلية التقليدية على ستة اصابع من  
الفضة ، تقوم بتوصيل الذهباء من الخلية .

أما الخلية البنفسجية ، فانها تستخدم شبكة  
ميكروسكوبية من خيوط الفضة ، لتوصيل الذهباء ،  
وذلك باستخدام طريقة لصنع الدوائر الدقيقة من  
الفضة ، عن طريق التآكل الفوتوغرافى .

ويقارن ذلك بالأصابع السميكة المصنوعة من  
الفضة ، والتي توجد فى الخلايا الشمسية التقليدية .

### زيادة فى الكفاءة :

وفى معامل كومسات ، فى كلاركسبورج ، بولاية  
ماريلاند ، تبين أن الخلايا البنفسجية تزيد كفاءتها  
عن ١٥٪ فى تحويل ضوء الشمس الى كهرباء .

ويقارن هذا بأحد عشر فى المائة ، وهو كفاءة  
الخلايا التقليدية - وهى زيادة تزيد عن الثلث .

وهكذا تمكن فريق البحث المجدد ، الذى يرأسه  
الدكتور ( ليندماير ) ، باستخدام استثمار صغير ، لم

يتعد ٣٠٠ ألف دولار ، من النجاح ، فى خلال عام ونصف ، فى وقف فترة الركود فى صناعة خلايا السيليكون الشمسية ، تلك الفترة التى دامت أكثر من عقد من الزمان .

### عهد جديد :

وفى عام ١٩٧٣ ، باعت شركة كومسات ، تكنولوجيا الخلية البنفسجية ، الى قسم سنترالاب ، فى شركة جلوب يونيون ، وهى إحدى الشركتين الأمريكيتين اللتين تنتجان الخلايا الشمسية لأغراض الفضاء .

كما أعلنت شركة كومسات ، ووكالة ( ناسا ) ، عن البدء فى استخدام الخلايا البنفسجية ، فى الأقمار الصناعية .

ان الدكتور ( ليندماير ) واثق من أن عهدا جديدا قد بدأ ، فى تاريخ الخلية الشمسية .

بل انه قد بين أن طرق الانتاج الجديدة ، المستخدمة فى الخلايا البنفسجية ، يمكنها أن تؤدى الى تقليل كبير فى تكاليف انتاج الخلايا الشمسية ، المنتجة خصيصا لاستخدامها على سطح الأرض .

ان طرقا اضافية جديدة ، لصنع الخلية الشمسية ، قد تقدم الحافز الاقتصادى ، لكسر حلقة التكاليف ، التى تحيط بتكنولوجيا الخلية الشمسية .

وان الجهود المتواصلة لمجموعة الدكتور (ليندماير)  
قد بينت أن الطريق مفتوح لاقتحامات علميه جديدة .

### تطوير طرق للانتاج الكبير :

وبالرغم من أن اعتبارات التكلفة ليست العامل  
الوحيد ، بل لعلها ليست العامل الرئيسى فى اختيار  
الطاقة الشمسية ، أو طاقة الوقود الحفرى ، أو الطاقة  
النووية ، لتوليد الكهرباء ، فى المستقبل ، فان الكثيرين  
مقتنعون بأنه ، بمزيد من الابحاث ، فان الكهرباء  
الشمسية يمكن أن تصبح فى رخص الكهرباء المولدة  
عن طريق الوقود الحفرى ، أو الطاقة النووية ، أو  
أرخص منهما .

ومن المؤكد أن العامل الرئيسى فى اخراج ذلك الى  
حين الوجود ، هو تطوير طرق للانتاج الكبير .

### نصف دولار لكل قدم مربع :

لقد عمل المهندس ( وليام تشيرى ) فى مجال الخلايا  
الشمسية ، منذ الخمسينات .

ثم أصبح أحد المسئولين فى وكالة ( ناسا ) ، فى  
مركز جودارد للطيران فى الفضاء ، فى مدينة جرينيلت ،  
فى ولاية ماريلاند .

لقد فكر هذا المهندس فى ايجاد اتحاد بين عدد من

الطرق الحديثة ، لانتاج الخلايا الشمسية على نطاق كبير ، لاستخدامها فى محطات القوى .

كما تنبأ بخطط تجميع على الكفاءة ، الى درجة كبيرة ، لانتاج خلايا السيليكون : يفدى جانب من الالة بخام السيليكون ، وتخرج من الطرف الآخر ، ملاعة مجهزة من الخلايا الشمسية .

وباستخدام الطرق المتقدمة للانتاج الكبير ، فان الخلايا الشمسية يمكن أن تكلف نصف دولار لكل قدم مربع ، أو خمسين دولارا لكل كيلو واط .

### شرائط الياقوت الأزرق :

لقد تم صنع آلة تشبه ، الى حد كبير ، تلك التى اقترحها ( تشيرى ) ، لتنتج ، على نطاق كبير ، شرائط الياقوت الأزرق ، ذى الجودة العالية ، وذلك لاستخدامات تكنولوجية متعددة .

لقد قام بصنع هذه الآلة ، المهندس (هارى لابل) ، وهو مخترع ، والدكتور ( أ . مالا فسكى ) ، مدير مركز تيكو التكنولوجى المشترك ، فى والتام ، بولاية مساشوستس الأمريكية .

وتعتمد طريقة تيكو ، للانتاج الكبير ، على الخاصية الشعرية : عند درجة ٢٦٢٠° م ، يسحب الياقوت الأزرق المصهور ، من خلال أنبوبة شعرية .

وعندما يصل الى أعلى الأنبوبة ، يقابل جزءا مصنوعا من الياقوت والمولبدنم ، يجعل الياقوت المصهور يأخذ الشكل المطلوب ، مربعا ، أو مستديرا . أو مستطيلا ، أو غير ذلك .

ثم توصل قطعة من الياقوت الصلب ، بالياقوت المصهور المشكل ، وتجذب الى أعلى ، لترفع معها جزءا من الياقوت المصهور ، فى الأنبوبة الشعرية ، ليحل محل الياقوت الذى تم تشكيله ، وتستمر العملية .

وينتج شريط من الياقوت ، وذلك بسحب الياقوت المصهور من خلال فتحة صممت لهذا الغرض ، أو فتحة فى الجزء سالف الذكر .

ويمكن لهذه الفتحة أن تأخذ أى شكل ، بحيث يخرج شريط الياقوت اسطوانيا ، أو مستطيلا ، أو على أى شكل آخر .

### برنامج متقدم للتطوير :

وفى حديث أدلى به الدكتور ( ملافسكى ) ، بين أن البحث والتطوير الابتدائيين يهدفان الى انتاج شرائط السيليكون بنفس الطريقة التى تنتج بها شرائط الياقوت فى تيكو .

الا أن درجة حرارة السيليكون المصهور تقل عن

درجة حرارة الياقوت المصهور ، اذ أنها تبلغ ١٤٢٠ فقط .

الا أن السيليكون يضيف مصاعب أخرى ، أهمها طبيعته الكيميائية المتفاعلة ، التي تسبب ذوبان عناصر كثيرة فيه ، وتكوين مركبات كيميائية جديدة ، مع العناصر الأخرى .

وينشأ عن هذا مصاعب كبيرة في اختيار المادة المناسبة لصنع الأجزاء التي يمر بها ، تلك المادة التي يمكنها تحمل عنف الانتاج الكبير المستمر لشرائط السيليكون .

الا أن الدكتور ( ملافسكى ) قد صرح بأن الجهود الأولية كانت مشجعة تماما ، وقلنا بأن المشكلة سوف يمكن حلها ، خاصة عن طريق تطبيق برنامج متقدم للتطوير ، واعتمادات تقدر بعدة مئات الآلاف من الدولارات .

### خفض التكاليف :

وفي عام ١٩٧٣ ، بدأت الآلات التجريبية في انتاج شرائط السيليكون البلورى ، على نطاق صغير .  
الا أن بعض مشاكل التفاعلات الكيميائية ، قد حالت بين شريط السيليكون ، وبين الوصول الى نوعية

ذات درجة عالية من الجودة ، تسمح باستخدامه في  
الخلايا الشمسية .

الا أن طريقة تيكو قد بعثت الآمال في نفوس  
أنصار الكهرباء الشمسية ، وباتوا يعتقدون أن المشاكل  
الآلية يمكن حلها ، بحيث يمكن لتكاليف خلايا السيليكون  
أن تنخفض بطريقة درامية .

وعلى أساس تكلفة خام السيليكون في المستقبل ،  
والتي تقدر بعشرة دولارات لكل رطل ، يرى الدكتور  
( ملافسكى ) أن مصنعا صغيرا يضم ١٢ آلة ، سوف  
يمكنه أن يعمل باستمرار ، لينتج ٢٤٠٠ شريط من  
السيليكون عرضه بوصة واحدة ، نقي بما يكفي لصنع  
الخلايا الشمسية ، بتكاليف تقدر بمبلغ ١٧ر٥ دولار  
لكل رطل من شريط الخلايا الشمسية .

ان هذا سوف يخفض تكاليف السيليكون لكل  
كيلو واط من الكهرباء الشمسية ، الى ٩٠ سنتا .

وواضح أن هذا لا يشكل الا حوالى نصف تكاليف  
الخلية الشمسية المجهزة ، والتي يأمل الدكتور  
ملافسكى ، بتحفظ ، أن يمكن انتاجها بمبلغ ١٨٠  
دولارا لكل كيلو واط ، باستخدام هذه الطرق  
الحديثة .



## استخدام السيليكون لخزن الطاقة :

ويعتقد الدكتور ( ملافسكى ) ان التطوير الناجح لطريقة تيكو للانتاج على نطاق واسع ، سوف تجعل من الممكن استخدام السيليكون كمادة لخزن الطاقة ، أو ، بعبارة أخرى ، كوقود يمكن نقله .

ذلك أنه سوف يكون من الممكن صناعة شرائط السيليكون ( التى تصلح لصنع الخلايا الشمسية ) ، فى مكان تتوفر فيه الرمال ، والطاقة الكهربائية ( التى قد تأتى من محطة قوى تعمل بالطاقة الشمسية ) .

وبعد الانتاج ، فان هذه الشرائط ، أو حتى خلايا السيليكون الشمسية التامة الصنع ، سوف تشحن الى محطاتها النهائية ، حيث تستخدم هذه الخلايا الشمسية ، فى تحويل ضوء الشمس الى كهرباء .

ان هذا يشبه ، الى حد كبير ، شحن الجازولين ، والزيت ، والغاز ، أو نقل الكهرباء فى خطوط الضغط العالى .

ويرى الدكتور ( ملافسكى ) أن شحن السيليكون ممتاز ، من الناحيتين الاقتصادية والبيئية ، على نقل الطاقة التقليدية .

## دائرة كاملة :

ويعطى الدكتور ملافسكى مثلاً من افريقيا : فهناك

الصحراء الكبرى الغنية بالرمال ، وهناك الكهرباء  
الرخيصة ، التي تتولد من المساقط المائية •

يمكن صنع شرائط السيليكون في هذا الموقع ،  
باستخدام الرمال المتوفرة هناك ، واستخدام الكهرباء  
لتسخين الأفران ( لصنع الشرائط ) •

انها دائرة كاملة ، يستخدم فيها السيليكون كوسط  
خازن للطاقة •

والسيليكون يمكن نقله • ان حمولة لورى من  
السيليكون ( فى صورة خلايا شمسية تامة الصنع )  
يمكن أن تولد آلاف عديدة من كيلووات الكهرباء •

ويضيف الدكتور ( ملافسكى ) أن هذا النوع من  
خزن الطاقة ، يجب أن يقارن بانتاج وقود الأيدروجين  
من الطاقة الشمسية •

الا أنه يرى أن السيليكون يمتاز بقدرة على  
احتواء الطاقة ، بكميات أكبر ، كما أنه أرخص فى  
نقله ، عن وقود الأيدروجين •

### تقرير هام :

ان مجموعة من علماء الخلية الشمسية ، العاملين  
فى صناعة الخلايا الشمسية ، ومعهم ممثل من معمل  
الدفع النفاث ، الذى تموله الحكومة الأمريكية ، قدموا  
تقريراً علمياً عن اقتصاديات الخلايا الشمسية ، بينوا

فيه أن طريقة تيكو قد تؤدي الى صنع ( قطع ) الخلية الشمسية بتكاليف قدرها ١٥٠ دولارا لكل كيلوواط ، وهي تكاليف تقل مائة مرة عن تكاليف تقطيع السيليكون من مصبوبة ، والتي تقدر بمبلغ ٣٠ ألف دولار لكل كيلوواط .

ان طريقة تيكو قد تمد الصناعة بشريط مستمر ، يمكن أن يقطع آليا الى قطع تصنع منها الخلايا الشمسية .  
وواضح أن هذه الطريقة أبسط كثيرا من تقطيع شرائح السيليكون .  
كما أنها لا تحتاج الى استخدام مناشير الماس الدقيقة .

### ٢٧٥ دولارا لكل كيلوواط :

وجاء في التقرير الذي قدمه هؤلاء العلماء ، ان تطوير طريقة لصنع شريط مستمر ، هو السبيل الى صنع خلايا شمسية من السيليكون ، بطريقة اقتصادية ، بدرجة أكبر .

ومن ذلك انتهوا الى أن اقامة خط لانتاج الخلايا الشمسية ، تامة الصنع ، قد يصبح حقيقة واقعة ، وأن عمليات عمل الوصلات الكهربائية للخلية ، والموصلات والأغطية ، سوف تصبح آلية .

كما توصلوا الى أنه عند كفاءة تحويل مقدارها

عشرة في المائة ، فان تكاليف الكهرباء الشمسية ، سوف تصبح ٣٧٥ دولارا ، لكل كيلو واط من سعة المحطة ، في منطقة مشمسة .

### منافسة لمحطات القوى النووية :

ان هذا سوف يمكن من استخدام الخلية الشمسية على نطاق تجارى . ذلك لأن محطات القوى الكهربائية التقليدية ، تتكلف ما بين ٣٠٠ و ٦٠٠ دولار لكل كيلو واط .

أما التكاليف الإضافية لـخزن الكهرباء الشمسية ، لاستخدامها أثناء الليل ، فانه يجب أخذها فى الاعتبار . ولكن هذه التكاليف لن تضاعف تكاليف الكهرباء الشمسية .

كما أنه عند انتاج خلايا السيليكون الشمسية ، على نطاق كبير ، فان الكهرباء الشمسية ، قد تصبح منافسة لمحطات القوى النووية .

## ثورة في عالم الطاقة

---

### الطاقة النووية :

عندما تنشطر ذرات العناصر الثقيلة ، مثل البلوتونيوم ، أو اليورانيوم ، تتكون ذرات عناصر أخف ، وتنطلق نيوترونات ، وكمية كبيرة من الطاقة الحرارية .

ويطلق على هذا التفاعل اسم الانشطار النووي .

وهذا ما يحدث عندما تنفجر قنبلة ذرية .

وفي هذه الحالة ، يحدث انشطار نووي متسلسل ، لا يجرى التحكم فيه .

أما في المفاعلات النووية ، فإن الانشطار النووي المتسلسل ، يجرى التحكم فيه ، بهدف توليد طاقة حرارية ، يمكن الاستفادة بها في توليد القوى الكهربائية .

وفي القنبلة الهيدروجينية ، يحدث اندماج نووي :

اذ يحدث اندماج بين نواتى ذرتين خفيفتين ، وتنطلق كمية هائلة من الطاقة الحرارية .

ومنذ أعوام ، يحاول العلماء بناء مفاعل نووى .  
يمثل بالاندماج النووى .

ويتميز هذا المفاعل بالوقود الرخيص المتوفر ،  
وعدم وجود نفايات مشعة .

الا أن العقبة الرئيسية فى سبيل هذا التفاعل ، هو  
جعل أنوية الذرات تندمج ، تلك الأنوية التى تنافر  
عادة .

### غير عملية :

ان مفاعلات الاندماج النووى التجريبية ، التى  
تجرى عليها الاختبارات فى يومنا هذا ، تسعى الى  
التغلب على هذا التنافر بالقوة : ذلك أنها ترفع درجة  
حرارة هذه الجسيمات ، الى خمسين مليون درجة مئوية ،  
ثم تضغطها الى كثافة عالية للغاية .

وهذا يجعل الأنوية تندمج .

ولكن هذه العملية تستهلك من الطاقة ، أكثر مما  
تنتج - وعلى ذلك ، فهى غير عملية .

ويرى ( ستيفن دين ) ، الذى يعمل فى مجموعة  
تجارية ، اسمها اتحاد طاقة الاندماج ، أن الباحثين فى

هذا المجال ، قد تقدموا مليون مرة ، خلال الأعوام  
العشرين الأخيرة ، نحو اغلاق فجوة الطاقة هذه .

ولكن مازال أمامهم معامل مقداره عشرة أضعاف ،  
عليهم أن يقطعوه ، قبل أن يتمكنوا من تحقيق فكرة  
مفاعل الاندماج النووي .

### محاولات عملية :

ولاكثر من ثلاثين عاما ، حاول العلماء أن يقوموا  
بتقليد نفس العملية التي تحدث في الشمس ، ألا وهي  
الاندماج النووي .

ان اندماج ذرتين خفيفتين ، ليكونا ذرة أثقل ،  
ينتج عنه طاقة حرارية ، يمكن تحويلها الى كهرباء .

وفي سبيل الوصول الى طاقة الاندماج النووي ،  
قام العلماء ببناء أجهزة ليزر ، تبلغ طاقتها ١٢٠  
تريليون وات ، كما قاموا ببناء مفاعلات يبلغ حجمها  
حجم ١٢ قاطرة من قاطرات السكك الحديدية .

ولكن ، وفي هذه الأيام ، التي يبدو لنا فيها أنهم  
على وشك أن يجعلوا من الاندماج النووي مصدرا عمليا  
للطاقة ، أعلن عالمان من علماء الكيمياء ، أنهما  
يستطيعان أن يحدثا اندماجا نوويا ، في أنبوبة  
صغيرة .

## نتائج مذهلة :

ذلك أن ( مارتن فليشمان ) ، الأستاذ فى جامعة ( سوثامبتون ) الانجليزية ، و ( ب \* ستانلى بونز ) الأستاذ فى جامعة ( يوتاه ) الأمريكية ، نشرأ بحثا عن النتائج المذهلة ، التى توصلأ إليها فى هذا المجال .

وظهر البحث فى مجلة Nature المعروفة ، فى شهر مارس من عام ١٩٨٩ .

ومنذ أن ظهر هذا البحث ، ظلت ماكينات الفاكس، فى مراكز البحث العلمى ، تقذف نسخا من هذا البحث المنشور فى عشر صفحات ، والذى يصف كيف يمكن انتاج طاقة الاندماج النووى فى أنبوبة صغيرة .

ان هذه الفكرة قد تنجح ، الأمر الذى قد يؤدى الى « أهم اكتشاف علمى فى القرن العشرين » ، كما يقول عالم الفيزياء ( فيليب موريسون ) ، الأستاذ فى معهد مساشوستس للتكنولوجيا ، « وذلك اذا لم يكن هناك اكتشاف على الاطلاق » .

## مزايا طاقة الاندماج النووى الجديدة :

ومن مزايا هذه الطاقة الاندماجية الجديدة ، أنها بسيطة ورخيصة .

ومثلها فى ذلك مثل الاندماج النووى التقليدى ،



نجد أنها سوف تستخدم وقودا رخيصا ، متوفرا  
بلا حدود ، يستخلص من ماء البحر .

كما أنها سوف تولد مخلفات مشعة ، تقل في  
كميتها عن تلك التي تتخلف من محطات القوى اذريه ،  
التي تعمل في يومنا هذا ، والتي تعمل بطريقة  
الانشطار النووي .

كما أنها لن تنتج غاز ثاني أوكسيد الكربون ،  
الذي ينتج من محطات القوى التي تعمل بالفحم ، ذلك  
الغاز الذي يهدد العالم بارتفاع متواصل في درجة  
الحرارة ، الناتج عن تأثير « بيت النباتات الزجاجي »  
المعروف .

وبعكس الاندماج النووي التقليدي ، فإن الطريقة  
الجديدة تعمل عند درجة حرارة الفرقة .

وهي بذلك تقدم « تكنولوجيا يمكن استخدامها  
في توليد الحرارة والقوة الكهربائية » كما يقول العالم  
( فليشمان ) .

## سنوات ودولارات :

لقد توصل العالمان ( فليشمان ) و ( بونز ) الى  
خطة لاجراء أبحاث مشتركة ، وذلك أثناء رحلات  
خلوية ، قاما بها في ربوع ولاية ( يوتاه ) ، وفي أثناء  
جلسات طويلة في مطبخ ( بونز ) .

يقول ( بونز ) « كانت فرصة النجاح واحدا في  
البليون » - ولكن المعجزة تحدث أحيانا .

وطوال خمسة أعوام ، أنفق الباحثان مائة ألف  
دولار ، من مالهما الخاص ، على التجارب . لقد كانا  
يعملان ليلا ، وفي أثناء عطلات نهاية الأسبوع .

ولكن الأمور لم تكن تسير كما كانا يشتهيان .

وفي إحدى المرات ، كان التفاعل متوحشا ،  
وأحرق أرضية المعمل .

ولكن ، وحتى قبل أن يعلنوا النتائج الكاملة  
لأبحاثهما ، كان الكيميائيون يهملون .

قال ( تشارلز مارتن ) الأستاذ في جامعة تكساس  
« ان خلاصة المبقرية تحقق أشياء يراها الآخرون  
أمورا غريبة ومضحكة » .

وهذان الرجلان يتمتعان بمقدرة فائقة على رؤية  
الأشياء .

### اندماج بارد :

وتتلخص فكرة الاندماج النووي البارد فيما يلي :  
هناك فلز فضي اسمه الباليديوم ، يمكنه أن يكون مثل  
زنزانة سجن مزدحمة ، لذرات معينة .

يمتص الباليديوم نوعا من الهيدروجين ، اسمه

الديوتيريوم ، ويحبسه في داخل تركيبه البلورى ،  
وتضغط أنوية الديوتيريوم بشدة ، الا أنها تبقى قادرة  
على الحركة ، « بحيث يجب أن يكون هناك عدد كبير من  
التصادمات عن قرب » ، كما يقول الباحثان (فليشمان)  
و ( بونز ) .

وقد تمكنت بعض تجارب الاندماج النووى البارد،  
من انتاج حرارة وات من القوة ، من كل وات أدخل فيها .  
وانطلقت اشاعة عن عملية تنتج ١٠ وات من كل  
وات .

وبالاضافة الى ذلك ، تمكن هذا الفريق البحثى من  
اثبات تكون نيوترونات ، وعنصر التريتيوم ، وهو  
شكل من أشكال الهيدروجين ، يستخدم فى القنابل  
الهيدروجينية .

والمعروف أن انطلاق النيوترونات ، وتكون  
التريتيوم ، هما مؤشران على حدوث اندماج نووى .  
تجارب ناجحة سابقة :

وبالرغم من هذا الشك المبكر ، فان بعض علماء  
الاندماج النووى ، بدأوا يؤمنون بهذا « الاندماج  
النووى البارد » الجديد .

ويرجع هذا جزئيا ، الى أن ( بونز ) و (فليشمان)  
ليسا وحدهما هما الرائدان فى هذا المجال .

ذلك أن هناك باحثين آخرين ، يقودهم عالم الفيزياء (ستيفن جونز) فى جامعة (بريجهام يونج) ، و (جوهان رافلسكى) فى جامعة (أريزونا) ، قد راوا نوعا من الاندماج النووى البارد .

### لا يعطى كثيرا من الحرارة :

ففى عام ١٩٨١ ، بدأ هؤلاء الباحثون فى تخليق ذرات هيدروجين غير عادية : لم يكن يدور حول أنويتها الككترونات ، كما هو الحال فى الذرات الطبيعية ، وإنما جسيمات تسمى ميونات (Muons) .

ويقول ( رافلسكى ) « ان هذه الميونات تمكن أنوية الهيدروجين من الاقتراب من بعضها البعض ، بدرجة تزيد بمقدار مائتى مرة عما تفعل عادة ، بحيث تندمج فى بعضها البعض » .

ولسوء الحظ ، فإن الاندماج النووى ، المحفوز بالميونات ، لا يعطى كثيرا من الحرارة .

ولذلك ، فإنه لم يصبح ، حتى الآن، مصدرا عمليا للطاقة .

كذلك ، قامت مجموعة ( جونز ) بتجربة فكرة السجن الفلزي ، وذلك باستخدام عنصر التيتانيوم ، بدلا من الباليديوم .

وهم يرون دلائل واضحة على امكانية حدوث الاندماج النووي .

الا أنهم لم يحصلوا على انتاج حرارى كبير ، ودب بعكس ما حدث مع ( بونز ) و ( فليشمان ) .

### حرارة غامضة :

وحتى اذا كانت التركيبات البلورية الفلزية تجعل الأنوية تندمج ، فهل يؤدي هذا الاندماج الى توليد تلك الحرارة الكبيرة ، اللازمة لتوليد القوة الكهربائية ؟

ان جميع الفرق البحثية ، التى أجريت فى مجال الاندماج النووي البارد ، لم تتمكن من الحصول على انتاج حرارى كبير ، بما فى ذلك الفريق البحثى الذى يعمل فى معمل بروكلين القومى ، فى نيويورك ، الذى نجح فى شهر ابريل من عام ١٩٨٩ ، فى تحقيق الاندماج النووي البارد .

### ملحوظة لم تفسر :

ان العالمين ( بونز ) و ( فليشمان ) وحدهما ، هما اللذان ذكرا انتاج حرارة كبيرة . فقد تمكنا من قياس حرارة تزيد بمقدار بلايين المرات ، عن تلك التى يمكن تفسيرها عن طريق الاندماج القياسى للديوتيريوم .

ويرى الدكتور ( ديفيد ويليامز ) ، الذى يعمل فى

هيئة الطاقة الذرية البريطانية ، أن هذه هي الملحوظة  
التي لم تفسر بعد .

وفي واقع الأمر ، فانه اذا كانت هذه الحرارة  
تنتج عن اندماج الديوتيريوم ، فان هذا التفاعل كان  
من الممكن أن ينتج عنه عدد كبير من النيوترونات ،  
بحيث كان من الممكن أن يموت ( بونز ) و ( فليشمان )  
نتيجة للتعرض للاشعاع .

ولما كان هذان العالمان مازالا يرزقان ، فان اندماج  
الديوتيريوم لا يمكن أن يكون مصدر الحرارة .

واليوم نجد علماء الفيزياء في حيرة يتساءلون عن  
ماهية هذا المصدر الحرارى .

ويرى ( بونز ) و ( فليشمان ) أنه يجب أن يكون  
عملية أو عمليات نووية غير معروفة .

**لمدة عام كامل :**

لقد تقدمت جامعة ( يوتاه ) بطلب لاصدار براءة  
اختراع عن الاندماج النووى البارد .

ولكن ، هل هناك شركات يهملها هذا الموضوع ؟

ان وقود الاندماج النووى رخيص ومتوفر .  
فالديوتيريوم يأتى من ماء البحر .

ويكلف الجالون من الماء الثقيل حوالى عشرة  
سنتات .

ان نصف طن من الماء الثقيل ، يحتوى على كمية  
من الديوتيريوم ، تكفى لتشغيل محطة للقوى ، قدرتها  
ألف ميجاوات ، لمدة عام كامل .

### عقبات أخرى :

ولكن عددا من المهندسين يتنبأون بعقبات أخرى،  
فى سبيل اقامة محطة للقوى ، تعمل بالاندماج النووى  
البارد .

من ذلك أن عنصر الباليديوم ، يتكلف الطن منه  
خمسة ملايين دولار .

وقد ارتفع ثمنه كثيرا منذ أن نشر هذان العلمان  
بحثهما عن الاندماج النووى البارد .

ان محطة للقوى ، قدرتها ألف ميجاوات ، تحتاج  
الى ٤٠٠ طن من الباليديوم .

ويرى عالم الفيزياء ( جيرالد كولشينسكى ) أن  
الباليديوم تقل كفاءته فى امتصاص الديوتيريوم . وبدء  
عملية الاندماج النووى ، عند درجات حرارة تقترب من  
تلك التى تعمل عندها محطة للقوى النووية .

وهذا لا يعنى أن الاندماج النووى البارد ، لا يمكن  
أن يتم ، ولكنه يعنى أنه يجب التفكير فى عمل شيء  
للالتفاف حول هذه العقبة .

## على نطاق تجارى :

ان أكثر العلماء تضاؤلا ، يرون أنه لن يمكن تطبيق الاندماج النووى التقليدى ، على نطاق تجارى ، قبل ثلاثين عاما .

ولكن الوضع يختلف بالنسبة للاندماج النووى البارد .

فهناك فرق بحثية كثيرة ، تسعى الى تحقيق ذلك الاندماج النووى البارد ، بحيث أصبح هناك نقص فى عنصر الباليديوم .

ومن أوائل الذين تمكنوا من تأكيد الاندماج النووى البارد ، عالم الفيزياء ( تيبور ستاريكسكاى ) فى جامعة ( كوسوث لايمس ) فى المجر ، بالاشتراك مع ( جيولا سيكا ) .

ويرى هذا العالم أنه سوف يمكن الحصول على طاقة تجارية ، من هذا المصدر الجديد ، بسرعة أكبر من تلك التى سارت بها الأمور ، بعد اكتشاف الانشطار النووى .



## الفهرس

الموضوع	صفحة
الطاقة والبيئة والآلة . . . . .	٥
انتاج الجازولين من الغاز الطبيعي . . . . .	١٩
الطاقة النووية . . . . .	٣٩
البحث عن مفاعل نووى آمن . . . . .	٦٥
الأيروجين وقود الغد . . . . .	٨٠
الأيروجين وقود المستقبل . . . . .	٩٧
البحث عن بدائل الطاقة . . . . .	١١٦
الكهرباء من الشمس . . . . .	١٢٩
ثورة فى عالم الطاقة . . . . .	١٥٥

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ٧٨١٣ / ١٩٩٢

---

ISBN — 977 — 01 — 3137 — 7



تعرف الطاقة عادة بأنها القدرة على العمل . سغل ويتم  
انجاز معظم العمل ، فى مجتمعنا اليوم ، عن طريق  
استئناس موارد الطاقة المحدودة .

إننا نسمع كثيرا عن موارد جديدة للطاقة ، سوف  
تستخدم فى مستقبل الأيام ( مثل طاقة الاندماج  
النوى ، والطاقة الحرارية الأرضية ) ، وذلك برغم  
أن العمل فى حضارة اليوم مرتبط بأنواع الوقود  
الحفرى ( الفحم والزيت والغاز الطبيعى ) ، وهى  
موارد للطاقة تتناقص بسرعة .

Bibliotheca Alexandrina



0407268

مطابع الهيئة ا.

٢٢٠ قرشا